「ICT を活用した次世代 ITS」のうち
「歩車間通信技術の開発」
平成 26 年度研究成果報告書

平成27年3月

株式会社パナソニック システムネットワークス開発研究所

目次

1. はじめに 10
2. 歩車間通信の通信プロトコル開発 11
2.1. 背景 11
2.2. 研究目的 12
2.3. 歩行者端末システム 13
2.3.1. 700MHz 帯通信端末 15
2.3.2. スマートフォン 18
2.4. RC-013 1.0 対応 20
2.4.1. 概要 20
2.4.2. DF_共通領域管理情報 21
2.4.3. DF_時刻情報 21
2.4.4. DF_位置情報 22
2.4.5. DF_車両状態情報 22
2.4.6. DF_車両属性情報 23
2.4.7. DF_位置オプション情報 23
2.4.8. DF_GPS 状態オプション情報 23
2.4.9. DF_位置取得オプション情報 24
2.4.10. DF_車両状態オプション情報 24
2.4.11. DF_交差点情報 25
2.4.12. DF_拡張情報 25
2.5. Bluetooth 仕様 26
2.5.1. Bluetooth と BLE 26
2.6. 平成 26 年度セキュリティ仕様 27
2.6.1. BLE のセキュリティ 27
2.6.2. スマートフォンから発信する情報の検討 27
2.7. 700MHz 帯通信端末における Bluetooth 機能検討 29
2.7.1. Bluetooth 仕様 29
2.7.2. データフォーマット 30
2.8. BLE タイミング制御信号の検討 41
2.8.1. BLE Module 41
2.8.2. 状態遷移 43
2.8.3. タイミング制御信号 45
2.9. 低消費電力実現に向けた検討 46
2.9.1. 状態遷移 46

2.9.2. 低消費電力制御案 48
3. 実環境における実証及び課題の抽出 50
3.1. Bluetooth による位置情報通知 50
3.1.1. ログ出力方法 50
3.1.2. 評価環境 51
3.1.3. 評価結果 52
3.2. RC-013 通信互換性評価 56
3.2.1. 対 700MHz帯通信端末 56
3.2.2. 対車載器 60
3.3. 複数台送受信評価 64
3.3.1. 評価環境 64
3.3.2. 評価結果 67
3.4. 高低差送受信評価 72
3.4.1. 評価環境 72
3.4.2. 評価結果 74
3.5. BLE 無線評価 78
3.5.1. BLE Module 評価 78
3.5.2. BLE Module 評価環境 79
3.5.3. BLE Module 無線特性 81
3.5.4. BLE Module Minimum Input Sensitivity 85
3.5.5. BLE Module 電流波形 86
3.6. 700MHz 帯高度道路交通システムに対する影響 88
3.6.1. 760MHz 帯雑音電力評価環境 88
3.6.2. 760MHz 帯雑音電力 89
3.6.3. 700MHz 帯通信端末 VS BLE Module のアンテナ間アイソレーション 92
3.6.4. BLE Module 760MHz 帯雑音電力劣化検証 101
3.7. 700MHz 帯通信端末 BLE 内蔵化模擬実験 106
3.7.1. 700MHz帯通信端末単体無線特性 106
3.7.2. BLE Module 動作時の 700MHz 帯通信端末無線特性 112
3.7.3. A 社 Chip アンテナ効率 121
3.8. 700MHz 帯通信端末諸検討 125
3.8.1. 700MHz 帯通信端末送信時間検証 125
4. まとめ 130
5. 参考文献 131

図表目次

図 2.3-1 歩行者端末システム 構成 14
図 2.3-2 歩行者端末システム 運用展開例 14
図 2.3-3 700MHz 帯通信端末 構成 15
図 2.3-4 700MHz 帯通信端末 外観写真 15
図 2.3-5 700MHz 帯通信端末 内蔵アンテナ 16
図 2.7-1 プロバイダ情報 bit 配列 38
図 2.8-1 BLE Module ブロック図 41
図 2.8-2 セントラルとペリフェラル 43
図 2.8-3 BLE Module 状態遷移 43
図 2.8-4 アクティブスキャンとパッシブスキャン 44
図 2.9-1 CPU 状態遷移(抜粋) 47
図 2.9-2 低消費電力対応 ブロック図 48
図 2.9-3 低消費電力対応 動作案 49
図 3.1-1 700MHz帯通信端末 ログ出力方法 50
図 3.1-2 Bluetooth 位置情報通知評価環境 51
図 3.1-3 治具ソフト 位置情報未取得状態 51
図 3.1-4 治具ソフト 位置情報取得状態 51
図 3.2-1 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 評価環境 56
図 3.2-2 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 評価環境 60
図 3.2-3 検証用 車載器 (車両に搭載されるものと同型) 60
図 3.2-4 検証用 700MHz帯通信端末環境 60
図 3.3-1 複数台送受信評価 評価環境 64
図 3.3-2 横須賀 YRP 評価場所 65
図 3.3-3 横須賀 YRP 高低差 65
図 3.3-4 車載器搭載車両 65
図 3.3-5 700MHz帯通信端末 評価セット 66
図 3.3-6 評価の様子 66
図 3.3-7 YRP 単独歩行評価 66
図 3.3-8 YRP 単独歩行 受信状態 71
図 3.4-1 高低差送受信評価 評価環境 72
図 3.4-2 名古屋市内 評価場所 73
図 3.4-3 車載器搭載車両 73
図 3.4-4 評価の様子 73
図 3.4-5 車載器受信範囲 76

図 3.5-1 評価ブロック図 79
図 3.5-2 評価環境 79
図 3.5-3 A 社及び B 社 Module 改造図 80
図 3.5-4 TP/TRM_LE/CA/BV_01_C 82
図 3.5-5 TP/TRM_LE/CA/BV_05＆06_C 82
図 3.5-6 TP/TRM_LE/CA/BV_05＆06_C 83
図 3.5-7 TP/RCV_LE/CA/BV_01_C 83
図 3.5-8 TP/RCV_LE/CA/BV_06_C 84
図 3.5-9 TP/RCV_LE/CA/BV_07_C 84
図 3.5-10 A 社 Minimum Input Sensitivity 特性 85
図 3.5-11 B 社 Minimum Input Sensitivity 特性 85
図 3.5-12 評価環境 86
図 3.5-13 A 社 BLE Module 電流波形 87
図 3.5-14 B 社 BLE Module 電流波形 87
図 3.6-1 評価ブロック図 88
図 3.6-2 評価環境 88
図 3.6-3 A 社 BLE Module 送信時の 760MHz 帯雑音電力 90
図 3.6-4 B 社 BLE Module 送信時の 760MHz 帯雑音電力 90
図 3.6-5 測定環境 92
図 3.6-6 アンテナ位置 A 93
図 3.6-7 アンテナ位置 B 93
図 3.6-8 アンテナ位置 C 94
図 3.6-9 アンテナ位置 D 94
図 3.6-10 アンテナ位置 E 95
図 3.6-11 アンテナ位置 F 95
図 3.6-12 700MHz 帯通信端末アンテナ特性（VSWR） 96
図 3.6-13 アンテナ位置 A のアイソレーション 96
図 3.6-14 アンテナ位置 B のアイソレーション 97
図 3.6-15 アンテナ位置 C のアイソレーション 97
図 3.6-16 アンテナ位置 D のアイソレーション 98
図 3.6-17 アンテナ位置 E のアイソレーション 98
図 3.6-18 アンテナ位置 F のアイソレーション 99
図 3.6-19 A 社 BLE Module f=1kHz～1GHz Spectrum 波形 102
図 3.6-20 B 社 BLE Module f=1kHz～1GHz Spectrum 波形 102
図 3.6-21 A 社 BLE Module 760MHz 帯 Spurious 波形 103
図 3.6-22 B 社 BLE Module Spurious 波形 104

図 3.6-23 B 社 BLE Module 測定環境 105
図 3.6-24 B 社 Module の実装図と Adapter 105
図 3.7-1 700MHz 帯通信端末の無線（送信）評価環境 106
図 3.7-2 送信 Power 特性 107
図 3.7-3 Frequency Error＆EVM 特性 107
図 3.7-4 評価ブロック図 108
図 3.7-5 評価環境 108
図 3.7-6 ログツール Tx 側：車載器設定アプリケーション 109
図 3.7-7 ログツール Rx 側：車載器設定アプリケーション 109
図 3.7-8 受信感度（PER）特性 110
図 3.7-9 700MHz 帯通信端末アンテナ通信時の測定環境 112
図 3.7-10 700MHz 帯通信端末の 760MHz アンテナ位置 113
図 3.7-11 700MHz 帯通信端末アンテナ位置に対する BLE Module アンテナの位置 113
図 3.7-12 アンテナ位置：1 0ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 114
図 3.7-13 アンテナ位置：1 20ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 114
図 3.7-14 アンテナ位置：1 39ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 115
図 3.7-15 アンテナ位置：2 0ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 116
図 3.7-16 アンテナ位置：2 20ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 116
図 3.7-17 アンテナ位置：2 39ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 117
図 3.7-18 アンテナ位置：3 0ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 118
図 3.7-19 アンテナ位置：3 20ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 118
図 3.7-20 アンテナ位置：3 39ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性 119
図 3.7-21 PER 測定時の 700MHz 帯通信端末配置図 120
図 3.7-22 PER 特性 120
図 3.7-23 測定 Module 121
図 3.7-24 電波暗室の測定環境 122
図 3.7-25 2402MHz 放射パターン 123
図 3.7-26 2442MHz 放射パターン 123
図 3.7-27 2480MHz 放射パターン 123
図 3.8-1 700MHz 帯通信端末の電流測定環境 126
図 3.8-2 電源投入直後の電流波形 127
図 3.8-3 電源投入から 100msec 周期 Burst 開始までの電流波形 127
図 3.8-4 100msec 間隔 Burst 時の電流波形 128
図 3.8-5 電源起動時から Power 送出までの Spectrum 波形 129
図 3.8-6 電源起動時から Power 送出までの電流波形 129
表 2.3-1 700MHz 帯通信端末 仕様 16

表 2.3-2 700MHz 帯通信端末 ソフト開発環境 17
表 2.3-3 スマートフォン 仕様..... 18
表 2.3-4 スマートフォン ソフト開発環境 19
表 2.4-1 RC-013 データ通信フォーマット 20
表 2.5-1 Bluetooth と BLE 比較..... 26
表 2.7-1 700MHz 帯通信端末 Bluetooth 仕様..... 29
表 2.7-2 POS データフォーマット 30
表 2.7-3 PWR データフォーマット 32
表 2.7-4 CNF データフォーマット..... 33
表 2.7-5 TERMINF_SETUP データフォーマット 34
表 2.7-6 TERMINF_CNF データフォーマット..... 35
表 2.7-7 INFO_REQ データフォーマット 36
表 2.7-8 INFO_RES データフォーマット..... 37
表 2.7-9 所有者属性..... 39
表 2.7-10 所有者用途..... 40
表 2.8-1 BLE Module I/O 仕様 42
表 2.8-2 BLE Module コネクタピン配置 42
表 3.1-1 700MHz帯通信端末 Bluetooth による位置情報通知確認 送信データ 52
表 3.1-2 700MHz帯通信端末 Bluetooth による位置情報通知確認 対向機側受信データ 52
表 3.1-3 スマートフォンから位置情報送信失敗時の 700MHz 帯通信端末送信データ ... 54
表 3.1-4 スマートフォンから位置情報送信失敗時の車載器受信データ..... 54
表 3.1-5 スマートフォンから位置情報送信成功時の 700MHz 帯通信端末送信データ ... 55
表 3.1-6 スマートフォンから位置情報送信成功時の車載器受信データ..... 55
表 3.2-1 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 端末 A 送信データ..... 58
表 3.2-2 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 端末 B 受信データ..... 58
表 3.2-3 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 端末 B 送信データ..... 59
表 3.2-4 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 端末 A 受信データ..... 59
表 3.2-5 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 700MHz帯通信端末 送信データ..... 62
表 3.2-6 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 車載器 受信データ 62
表 3.2-7 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 車載器 送信データ 63
表 3.2-8 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 700MHz帯通信端末 受信データ..... 63
表 3.3-1 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 A 送信データ..... 67
表 3.3-2 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 B 送信データ..... 67
表 3.3-3 複数台送受信評価 車載器 受信データ..... 68
表 3.3-4 複数台送受信評価 車載器 送信データ..... 69

表 3.3-5 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 A 受信データ 70
表 3.3-6 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 B 受信データ 70
表 3.4-1 高低差送受信評価 700MHz帯通信端末 送信データ 74
表 3.4-2 高低差送受信評価 車載器 受信データ 74
表 3.4-3 高低差送受信評価 車載器 送信データ 75
表 3.4-4 高低差送受信評価 700MHz帯通信端末 受信データ 75
表 3.4-5 準天頂衛星 位置情報 77
表 3.5-1 A 社 BLE Module 無線特性 78
表 3.5-2 A 社 BLE Module 無線特性評価結果一覧 81
表 3.5-3 B 社 BLE Module 無線特性評価結果一覧 81
表 3.6-1 IEEE802.11p 感度規格（抜粋） 100
表 3.6-2 許容雑音電力計算 100
表 3.7-1 送信・受信のログデータ 111
表 3.7-2 自社測定のアンテナ効率 124
表 3.7-3 A 社提示のアンテナ効率 124

1. はじめに

自動走行システムには、①交通事故の削減、②交通渋滞の緩和、③環境負荷の低減という効果が期待され、特に超高齢化社会を迎える中、世界一安全な道路交通社会を目指す我が国にとって、関連技術の開発やその普及に向けた環境整備は極めて重要である。自動走行システムを実現するためには、従来の自動車単体での運転支援技術（自律型）の更なる高度化に加え、車と車、インフラ、歩行者等をつなぐ高度な無線通信技術を活用した運転支援技術（協調型）の早期実用化が不可欠である。

平成 25 年に閣議決定された「世界最先端 IT 国家創造宣言」において、「車の自律系システムと車と車、道路と車との情報交換等を組み合わせ、2020 年代中には自動走行システムの試用を開始する。これらの取組などにより、2018 年を目途に交通事故死者数を 2,500 人以下とし、2020 年までには、世界で最も安全な道路交通社会を実現する（交通事故死者数が人口比で世界一少ない割合になることを目指す）」とされている。

この国家目標を実現するために、内閣府における SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）が創設された。本研究開発は、SIP ・自動走行システムに係わる研究開発の一部として実施されるものである。

2. 歩車間通信の通信プロトコル開発

2.1. 背景

1 章で示した方針により本研究開発においては、歩行者等と近接する自動車との間で位置情報等を交換し衝突等を回避するための歩車間通信システムの研究開発を行う。総務省では、平成 22 年度より、ドライバー及び歩行者の双方もしくは片方に対して注意喚起情報を提供するシステム成立性の基礎検討となる高効率無線通信技術に関する調査検討を実施している。

平成 22 年度の報告では、システム成立の重要な要件である電波伝搬特性やデータ伝送遅延等の点で、700MHz 帯を用いたシステムの優位性が報告された。 平成 23 年度は、700MHz 帯を用いた車車間（車載器と車載器の通信）及び路車間（路側帯に設置される機器と車載器との通信）通信システムに大きな影響を与えず、より少ない周波数帯域幅で効率的な通信を実現できる 700MHz 帯通信端末と車載器との高効率無線通信技術の調査検討を実施した。平成 24 年度の報告では、700MHz 帯を用いた車車間及び路車間通信システムと同時共存できる歩車間通信制御方式案を検討し、提案されたそれぞれの通信制御方式案において、同時共存可能な無線機台数や通信パラメータを検証することで、車車間及び路車間通信システムと共存できる可能性を確認した。平成 25 年度は、700MHz 帯通信端末や車載器が大規模かつ多様に分布した環境を想定したシミュレーション評価や実機を用いた評価試験を行い、700MHz 帯を用いた歩車間通信制御方式の車車間及び路車間通信との成立性について確認がなされている。

本年度は、これまでの検討を踏まえ、平成 26 年 3 月に策定された 700MHz 帯におけるデータ通信フォーマットを歩行者端末システムに対応させた。その上で、実証実験において、あらたに準天頂衛星から得られる位置情報を利用した 700MHz 帯通信端末と車載器との通信を行った。また、歩行者端末システムにおける低消費電力への取り組みとして、位置情報を送受信する無線通信方式の検討と評価を行った。これらの実験や検討・評価において 700MHz 帯を用いた歩車間通信制御方式に関する影響を確認した。

2.2. 研究目的

SIP の基本計画に従い、700MHz 帯通信に影響が及ぶような通信方式の変更を加えることなく、必須である低消費電力化技術を導入する。この低消費電力化が 700MHz 帯通信モデムを On/Off する制御信号を用いて、間欠受信を実現することで可能であることを確認する。本研究においてはこの制御信号伝達に Bluetooth を用いることとし、間欠受信を含めた低消費電力化の検討、700MHz 帯通信端末外部からの情報取得の確認を行う。

本研究ではこれまで検証してきた 700MHz 帯通信端末に Bluetooth を追加し、通信フォーマットを「700MHz 帯高度道路交通システム 実験用車車間通信メッセージガイドライン ITS FORUM RC-013 1.0 版」(参考文献[1]を参照。以降、RC-013 と表記する)に対応するよう改修を行った。RC-013 の改修による課題と影響を見きわめ、700MHz 帯通信端末と車載器間の無線通信制御技術に関する技術基準の策定に資するものである。

2.3. 歩行者端末システム

歩行者端末システムの構成を図 2.3-1 に示す。歩行者端末システムは車載器や路側帯器と通信を行う 700MHz 帯通信端末と準天頂衛星の電波を受信する準天頂端末、700MHz 帯通信端末と準天頂端末を Bluetooth で接続し通信するスマートフォンからなる。700MHz 帯通信端末は平成 25 年度の評価で用いられた端末と同型機である。前述のように平成 26 年度実験では 700MHz 帯通信端末に組み込まれている Bluetooth Module を動作させるソフト開発を行った。詳細については 2.3.1 章に示す。

準天頂端末は**イ）高度位置精度技術の開発**において開発を行っているため、本報告書では詳細を割愛する。

評価で使用するスマートフォンはGPS、加速度、温度などのセンサやBluetooth、電話（LTEや3G）、Wi-Fi（IEEE 802.11 n など）の無線機能が搭載されている。平成 26 年度実験では Android OS を採用しているスマートフォンを用いて位置情報を Bluetooth でデータ送信するという方法を採用した。詳細については 2.3.2 章に示す。

このようにスマートフォンに搭載されている機能を有効に活用することで、将来的には図 2.3-2 に示す利用法も考えられる。

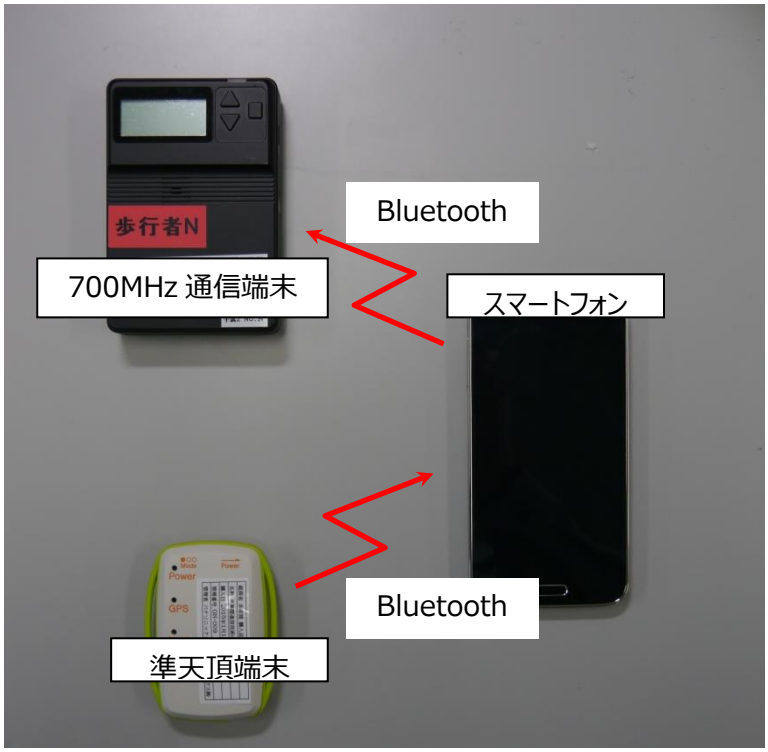


図 2.3-1 歩行者端末システム 構成

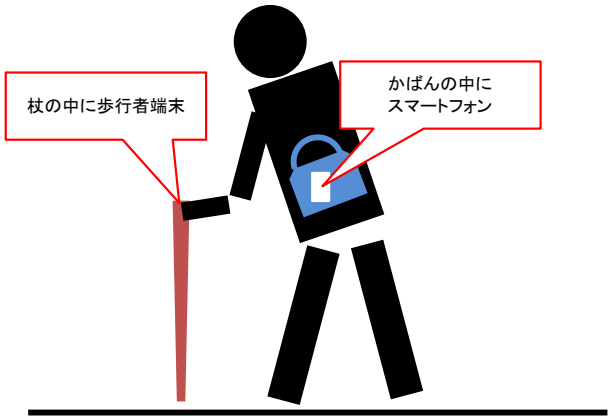


図 2.3-2 歩行者端末システム 運用展開例

2.3.1. 700MHz 帯通信端末

ここでは、700MHz 帯通信端末の仕様について説明する。

2.3.1.1. ハード仕様

700MHz 帯通信端末の構成を図 2.3-3 に、外観写真を図 2.3-4 に、無線機仕様を表 2.3-1 に示す。700MHz 帯通信端末は 700MHz 帯域のアンテナを内蔵しており、外観写真を図 2.3-5 に示す。

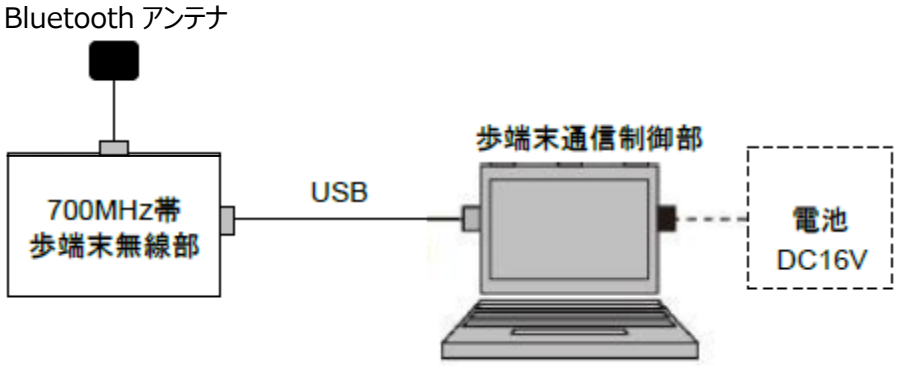


図 2.3-3 700MHz 帯通信端末 構成

図 2.3-4 700MHz 帯通信端末 外観写真

表 2.3-1 700MHz 帯通信端末 仕様

仕様項目	仕様内容
CPU	32bit RISC マイクロコンピュータ
アクセス制御方式	CSMA/CA 方式
車車/路車共用方法	時分割によって共用
通信形態	ブロードキャスト
変調方式	BPSK、QPSK、16QAM/OFDM
サブキャリア数	52（4pilot 含む）
FFT/IFFT サイズ	64
シンボル間隔	8.0 [μ sec.]
ガードインターバル	1.6 [μ sec.]
誤り訂正	畳込み FEC（符号化率 ：1/2、3/4）
送受信周波数	760 MHz
最大出力電力	10 mW/MHz
専有周波数幅	9.0 MHz 以下
不要発射の強度	・710MHz 以下：2.5μW/100kHz 以下 ・710MHz を超え750MHz 以下：20nW/100kHz 以下 ・750MHz を超え755MHz 以下：0.1mW/100kHz 以下 ・765MHz を超え770MHz 以下：0.1mW/100kHz 以下 ・770MHz を超え810MHz 以下：10nW/100kHz 以下 ・810MHz を超え1GHz 以下：2.5μW/100kHz 以下 ・1GHz を超えるもの：2.5μW/1MHz 以下
副次的に発する電波等の限度	・1.0GHz 以下：4nW/100kHz 以下 ・1.0GHz を超えるもの：4nW/1MHz 以下

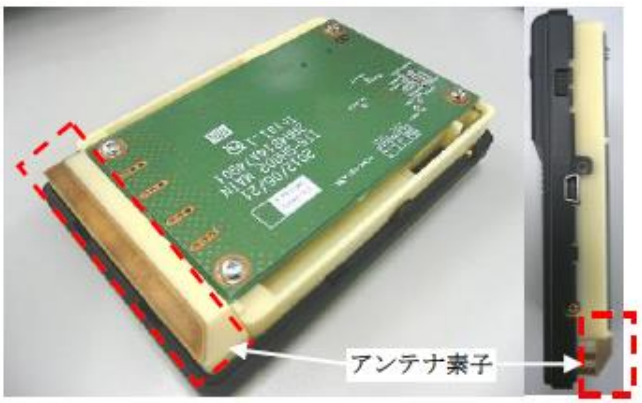


図 2.3-5 700MHz 帯通信端末 内蔵アンテナ

2.3.1.2. ソフト仕様

700MHz 帯通信端末のソフト開発環境を表 2.3-2 に示す。

表 2.3-2 700MHz 帯通信端末 ソフト開発環境

仕様項目	仕様内容
PC	IBM PC/AT 互換
OS	Microsoft Windows 7（32bit）
CPU	Intel CORE i5
開発言語	C

2.3.2. スマートフォン

ここでは、700MHz 帯通信端末に接続するスマートフォンの仕様について説明する。

2.3.2.1. ハード仕様

スマートフォンの仕様を表 2.3-3 に示す。

表 2.3-3 スマートフォン 仕様

仕様項目	仕様内容
OS	Android 4.4（KitKat）
メモリ	RAM：1GB ROM：8GB
バッテリ	2000mAh（一体型）
ディスプレイ	5.0 inch （1280×720）
GPS	対応
A-GPS	対応
Bluetooth	V4.0（Smart Ready とみられる）
LTE	B1/3/5/7/19
WCDMA	B1/5/8/19MHz
GSM	850/900/1800/1900
Wi-Fi	IEEE 802.11b/g/n

2.3.2.2. ソフト仕様

ソフトの開発環境を表 2.3-4 に示す。

イ)高度位置精度技術の開発において、準天頂端末と 700MHz 帯通信端末を接続するスマートフォンアプリを開発している。同時進行で作業が行われているため、700MHz 帯通信端末の動作確認を目的とした治具ソフトを別途開発した。

主な仕様としては、スマートフォンで GPS 情報を取得し、1秒間隔でスマートフォンから700MHz帯通信端末へBluetoothを使って送信する。起動直後からGPS情報を取得できなかった場合は、位置情報は null 状態となり、700MHz 帯通信端末へ正しい情報は提供されない。GPS 情報が取得できない状態の場合は、最後に受信した GPS 情報を繰り返し送信する。なお、動作確認目的の治具ソフトのため、準天頂衛星との通信には対応していない。

表 2.3-4 スマートフォン ソフト開発環境

仕様項目	仕様内容
開発環境	Eclipse 4.2.1
	Android 4.4W Rev1
	Android SDK Tools Rev24.0.2
	Android SDK Platform-tools Rev21
	Android SDK Build-tools Rev20
PC	IBM PC/AT 互換
OS	Microsoft Windows 7（32bit）
CPU	Intel CORE i5

2.4. RC-013 1.0 対応

歩車間・車車間・路車間で通信されるメッセージの種類は一つであり、その通信フォーマットは RC-013 である。RC-013 が共通に送信するメッセージであり、交通安全を実現するための基本的な情報となる。ここでは、700MHz 帯通信端末が送信するメッセージ内容について説明する。

平成 26 年度は RC-013 1.0 に対応するよう 700MHz 帯通信端末を改修し、実験において車載器との通信確認を通じて RC-013 での送受信を確認した。実験結果については 3.2 章に示す。なお、前述のとおり RC-013 は「実験用車車間通信メッセージガイドライン」であるため、歩行者が取得できない情報も存在する。そのような情報については不定値をセットする。

2.4.1. 概要

RC-013 の構成は共通領域と自由領域の2つに分けられる。RC-013 のデータ通信フォーマットの詳細を表 2.4-1 に示す。

共通領域はすべての端末が通信する情報領域である。共通領域のヘッダには、DF_共通領域管理情報が格納される。DF_共通領域管理情報は共通領域で格納されている内容が示されている。共通領域のデータとして DF_時刻情報、DF_位置情報、DF_車両状態情報、DF_車両属性情報が格納される。オプションとして DF_GPS 状態オプション情報、DF_位置取得オプション情報、DF_車両状態オプション情報、DF_交差点情報、DF_拡張情報がある。自由領域は任意に格納される情報領域を意味しており、平成 26 年度実験では定義していない。

表 2.4-1 RC-013 データ通信フォーマット

領域	データフォーマット	必須	任意	サイズ (byte)
共通領域	DF_共通領域管理情報	○		8
	DF_時刻情報	○		4
	DF_位置情報	○		11
	DF_車両状態情報	○		9
	DF_車両属性情報	○		4
	DF_位置オプション情報		○	2
	DF_GPS 状態オプション情報		○	4
	DF_位置取得オプション情報		○	2
	DF_車両状態オプション情報		○	7
	DF_交差点情報		○	10
	DF_拡張情報		○	1
自由領域	DF_自由領域管理情報		○	0～1
	DF_個別アプリデータ 管理情報セット		○	0～21
	（自由アプリデータ領域）		○	0～60

2.4.2. DF_共通領域管理情報

2.4.2.1. DE_共通サービス規格 ID

共通サービス規格を識別するID情報。定義されているIDが1(車車間通信共通サービス規格)のみであるため、1を設定する。

2.4.2.2. DE_メッセージ ID

メッセージを識別する ID 情報。定義されている ID が 1(基本メッセージ)のみであるため、1 を設定する。

2.4.2.3. DE_バージョン情報

メッセージのバージョン情報。Version 1 なので、1 を設定する。

2.4.2.4. DE_車両 ID

車両毎にテンポラリに設定される ID 情報。700MHz 帯通信端末も起動時にランダムな値を設定する。

2.4.2.5. DE_インクリメントカウンタ

データ送信順を示す番号情報。0 から 255 の範囲で送信の度に 1 加算される。255 の次は 0 に戻る。

2.4.2.6. DE_共通アプリデータ長

共通アプリデータ領域のデータサイズ情報。後述のデータ定義を踏まえて 54 (0x36)とセットされる。

2.4.2.7. DE_オプションフラグ

格納するオプション情報を示すフラグ情報。700MHz 帯通信端末は 64(0x3F)とセットする。

2.4.3. DF_時刻情報

2.4.3.1. DE_うるう秒補正情報

時刻のうるう秒補正機能の有無を示す情報。

2.4.3.2. DE_時刻 (時)

送信するメッセージ内容を確定した時刻のうち、時(Hour)を示す。日本標準時(JST : グリニッジ標準時 + 9Hour)としてセットする。0 から 23 のいずれかが入るが、不定の場合は 127(0x7F)をセットする。

2.4.3.3. DE_時刻 (分)

送信するメッセージ内容を確定した時刻のうち、分(Minute)を示す。0 から 59 のいずれかが入るが、不定の場合は 255(0xFF)をセットする。

2.4.3.4. DE_時刻 (秒)

送信するメッセージ内容を確定した時刻のうち、秒(Second)を示す。分解能は 0.001 秒で 0 から 60.999 までを表す。不定の場合は 65535(0xFFFF)をセットする。

2.4.4. DF_位置情報

2.4.4.1. DE_緯度

位置の緯度情報。測地系は WGS84 を使用。プラスは北緯、マイナスは南緯を示す。不定の場合は-2147483648（0x80000000）をセットする。Bluetooth を通じて位置情報を取得できない時は 0 をセットする。

2.4.4.2. DE_経度

位置の経度情報。測地系は WGS84 を使用。プラスは東経、マイナスは西経を示す。不定の場合は-2147483648（0x80000000）をセットする。Bluetooth を通じて位置情報を取得できない時は 0 をセットする。

2.4.4.3. DE_高度

基準面からの高度情報。-409.5m から-0.1m を 0xF001 から 0xFFFF、0m から 6143.9m を 0x0000～0xEFFF と表す。分解能は 0.1m。6143.9m 以上は 0xEFFF で表す。不定の場合は 0xF000 をセットする。Bluetooth を通じて位置情報を取得できない時は 0 をセットする。

2.4.4.4. DE_位置取得情報

水平方向位置（緯度・経度）の信頼度を示す情報。搭載されている測位システムに応じたクラスの値をセットする。

2.4.4.5. DE_高度取得情報

高度の信頼度を示す情報。搭載されている測位システムに応じたクラスの値をセットする。

2.4.5. DF_車両状態情報

2.4.5.1. DE_車速

自車両の速度情報。700MHz 帯通信端末は速度を取得できないため、不定（0xFFFF）をセットする。

2.4.5.2. DE_車両方位角

自車両の進行方位角情報。700MHz 帯通信端末は移動方位を取得できないため、不定（0xFFFF）をセットする。

2.4.5.3. DE_前後加速度

自車両前後方向の加速度情報。700MHz 帯通信端末は加速度を取得できないため、不定（0x8000）をセットする。

2.4.5.4. DE_車速取得情報

車速の信頼度を示す情報。700MHz 帯通信端末は取得できないため、不定（0）をセットする。

2.4.5.5. DE_車両方位角取得情報

車両方位角の信頼度を示す情報。700MHz 帯通信端末は取得できないため、不定（0）をセットする。

2.4.5.6. DE_前後加速度取得情報

前後加速度の信頼度を示す情報。700MHz 帯通信端末は取得できないため、不定（0）をセット

する。

2.4.5.7. DE_シフトポジション

自車両のシフトポジション情報。700MHz 帯通信端末は不定(7)をセットする。

2.4.5.8. DE_ステアリング角度

自車両のステアリング操舵角度情報。700MHz 帯通信端末からは不定(0x800)をセットする。

2.4.6. DF_車両属性情報

2.4.6.1. DE_車両サイズ種別

自車両のサイズ情報。700MHz 帯通信端末は歩行者を示す 6 をセットする。

2.4.6.2. DE_車両用途種別

自車両の用途種別情報。700MHz 帯通信端末はその他(15)をセットする。

2.4.6.3. DE_車幅

自車両の全幅情報。700MHz 帯通信端末は不定(0x3FF)をセットする。

2.4.6.4. DE_車長

自車両の全長情報。700MHz 帯通信端末は不定(0x3FFF)をセットする。

2.4.7. DF_位置オプション情報

2.4.7.1. DE_位置情報遅れ時間

測位データの更新周期情報。700MHz 帯通信端末は不定(0x1F)をセットする。

2.4.7.2. DE_リビジョンカウンタ

GPS レシーバでデータ受信したタイミングから同じデータを送信している期間の情報。700MHz 帯通信端末は不定(0x1F)をセットする。

2.4.7.3. DE_道路施設情報

走行・停車している場所の道路施設情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.7.4. DE_道路区分情報

走行している道路の道路区分情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.8. DF_GPS 状態オプション情報

2.4.8.1. DE_位置情報誤差楕円長半径

GPS により取得した位置情報の信頼度指標である水平方向の誤差楕円の長半径情報。700MHz 帯通信端末は不定(0xFF)をセットする。

2.4.8.2. DE_位置情報誤差楕円短半径

GPS により取得した位置情報の信頼度指標である水平方向の誤差楕円の短半径情報。700MHz 帯通信端末は不定(0xFF)をセットする。

2.4.8.3. DE_位置情報誤差楕円回転角

GPS により取得した位置情報の信頼度指標である水平方向の誤差楕円の回転角情報。

700MHz 帯通信端末は不定（0xFFFF）をセットする。

2.4.9. DF_位置取得オプション情報

2.4.9.1. DE_GPS 測位モード

GPS により取得した位置情報がどのような測位モードで測位されたか示す情報。700MHz 帯通信端末は不定（0）をセットする。

2.4.9.2. DE_GPS 位置精度低下率

GPS により取得した位置情報が、衛星の幾何学的配置によりどれくらい位置精度へ影響を受けた状態で取得したものか示す情報。700MHz 帯通信端末は不定（0x3F）をセットする。

2.4.9.3. DE_GPS 衛星補足数

GPSにより取得した位置情報が、いくつのGPS衛星を補足した状態で取得したものかを示す情報。700MHz 帯通信端末は不定（0xF）をセットする。

2.4.9.4. DE_GPS マルチパス検出

GPS により取得した位置情報が、マルチパスの影響の元で取得されたものかを示す情報。マルチパスとは GPS 衛星から発射された電波が周辺の建物などに反射され、それらを受信している状況を示す。700MHz 帯通信端末は不定（0）をセットする。

2.4.9.5. DE_自律航法機能情報

GPS により取得した位置情報が、いくつの GPS 衛星を補足した状態で取得したものかを示す情報。700MHz 帯通信端末は自律航法機能無し（0）をセットする。

2.4.9.6. DE_マップマッチング機能情報

自車両の位置情報に対するマップマッチング機能が搭載しているかを示す情報。700MHz 帯通信端末はマップマッチング機能無し（0）をセットする。

2.4.10. DF_車両状態オプション情報

2.4.10.1. DE_ヨーレート

自車両のヨーレート。700MHz 帯通信端末は不定（0x8000）をセットする。

2.4.10.2. DE_ブレーキ状態

自車両のブレーキ状態情報。700MHz 帯通信端末は各ビット値を OFF もしくは無効にする。結果、セットする値を 0x00 とする。

2.4.10.3. DE_補助ブレーキ状態

自車両の補助ブレーキ状態情報。700MHz 帯通信端末は不定（0）をセットする。

2.4.10.4. DE_アクセルペダル開度

自車両のアクセルペダルの操作量をセットする。700MHz 帯通信端末は不定（0xFF）をセットする。

2.4.10.5. DE_灯火類状態

自車両のウィンカ・ハザード・前照灯の状態情報。700MHz 帯通信端末は各ビット値を OFF もし

くは無効にする。結果、セットする値を 0x00 とする。

2.4.10.6. DE_ACC（Adaptive Cruise Control）作動状態

自車両の ACC 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.10.7. DE_C-ACC（Cooperative - Adaptive Cruise Control）作動状態

自車両の C-ACC 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.10.8. DE_PCS（Pre Crash Safety）作動状態

自車両の PCS 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.10.9. DE_ABS（Antilock Brake System）作動状態

自車両の ABS 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.10.10. DE_TRC（Traction Control System）作動状態

自車両の TRC 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.10.11. DE_ESC（Electronic Stability Control System）作動状態

自車両の ESC 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.10.12. DE_LKA（Lane Keeping Assist System）作動状態

自車両の LKA 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.10.13. DE_LDA（Lane Departure Warning System）作動状態

自車両の LDA 作動状態情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.11. DF_交差点情報

2.4.11.1. DE_交差点距離取得情報

前方直近の交差点までの距離情報の取得先情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.11.2. DE_交差点距離

前方直近の交差点までの距離情報。700MHz 帯通信端末は不定(0x3FF)をセットする。

2.4.11.3. DE_交差点位置取得情報

前方直近の交差点までの位置情報の取得先情報。700MHz 帯通信端末は不定(0)をセットする。

2.4.11.4. DE_交差点緯度

前方直近の交差点の緯度。700MHz 帯通信端末は不定(0x80000000)をセットする。

2.4.11.5. DE_交差点経度

前方直近の交差点の経度。700MHz 帯通信端末は不定(0x80000000)をセットする。

2.4.12. DF_拡張情報

2.4.12.1. DE_その他用拡張情報

2.4.6.2 DE_車両用途種別 で「その他(15)」をセットしているので、通常状態を示す 0 をセットする。

2.5. Bluetooth 仕様

700MHz 帯通信端末とスマートフォンとのデータ通信に使用する Bluetooth（IEEE 802.15.1 規格）は 2.4GHz 帯を使用する無線通信で、数 m から数十 m 程度の距離にある端末間におけるデータの送受信に用いられる。近年は携帯電話（フィーチャーフォン・スマートフォン）、パソコン、テレビなどに採用され、ヘッドホンやマイクなどの周辺機器との通信に利用される。

また、消費電力を低く抑えることができる通信方式であり、スマートフォンに搭載されている Wi-Fi と比較すると 10 分の 1 程度しか消費しないとされている。

2.5.1. Bluetooth と BLE

現在 Bluetooth 規格の一部として 2010 年 7 月に Bluetooth Ver4.0 が提案されている（Bluetooth Low Energy とも呼ばれており、本資料では以降 BLE と記す）。BLE は、待受時の処理と送信可能なパケットサイズを従来の Bluetooth（Bluetooth Ver3.1 や Bluetooth Ver2.1 を指す。以降 Bluetooth と記す）から変更することにより、低消費電力を実現したシステムである。参考文献[2]をもとに Bluetooth と BLE の仕様比較を表 2.5-1 に示す。

BLE を 700MHz 帯通信端末に搭載する事により、端末の低消費電力化に寄与する。

現在、市場に流通されているスマートフォンは機種によらず Bluetooth が採用されている。平成 26 年度実験では既に 700MHz 帯通信端末に搭載されている Bluetooth Module を動作させ（ソフト開発を行い）実証実験を行った。BLE については、この 700MHz 帯通信端末（Bluetooth）同様に内蔵化による弊害・干渉（BLE が 700MHz 帯通信端末の通信に影響）を与えないかについて屋内で検証実験及び模擬実験を行う。

表 2.5-1 Bluetooth と BLE 比較

	Bluetooth	BLE
送信電力	2.5mW	1mW
通信距離	15m	10m
ネット規模	7 ノード	制限なし
消費電力	約 50mW （連続動作）	50μW～1mW （間欠動作）
最大パケットサイズ	1021byte	47byte
電池寿命	数日	数年

2.6. 平成 26 年度セキュリティ仕様

平成 26 年度の達成目標は、Bluetooth での通信路確立とし、鍵交換を含めた暗号化遅延の検討は平成 27 年度に行うものとする。この目標に従い、平成 26 年度の本研究においては、Bluetooth や BLE での通信を行う際にセキュリティを重視した通信フォーマットについて検討を行った。Bluetooth や BLE の送受信範囲は数 m 程度であることから、位置情報と時刻情報と結合したデータを非暗号化状態で送信した場合、受信可能な範囲では周知の情報であることから、端末を特定されるリスクが少なく問題ないと判断した。

2.6.1. BLE のセキュリティ

BLE ではセキュリティが強化され、「平文（暗号化なし）」もしくは「AES（Advanced Encryption Standard）を使用する（暗号化あり）」を選択できる。 AES はブロック暗号の一つで、一般的に Wi-Fi ルータなどで採用されており、安全性の高い暗号方式の一つである。BLE の仕様によれば、ペリフェラル（2.8.2 章参照）が AES 実施を要求し、鍵の交換を行う。通信を切断した際は鍵を破棄し、再接続時に鍵を再取得する。

平成 27 年度の間欠受信実装時において、鍵交換を含めた遅延検討を行うものとし、平成 26 年度実験では、短時間で通信を確立する必要があるため、平文を用いる。データを送信する際には暗号化がなされていないため、700MHz 帯通信端末を特定できる ID 情報は含めないこととする。

2.6.2. スマートフォンから発信する情報の検討

RC-013 の各データフォーマットに対して、端末を特定されることなく必要な情報をスマートフォンから提供可能か検討した。検討結果に関しては 2.6.2.1～2.6.2.11 章に示す。

この検討結果より、平成 26 年度においては平文で送るものを時刻情報と位置情報を組み合わせたものとし、平成 27 年度に鍵交換手順を含め再検討を行う。

2.6.2.1. DF_共通領域管理情報

DF_共通領域管理情報には、DE_インクリメントカウンタと DE_車両 ID が含まれている。DE_インクリメントカウンタは 700MHz 帯通信端末が車両へ送る度に1加算される値である。700MHz 帯通信端末が車両に情報を送る頻度は 100[msec.]に対し、スマートフォンから 700MHz 帯通信端末への送信間隔は 1.0[sec.]間隔で検討している。そのためスマートフォンも 100[msec.]ごとに送信しないと規格を満たさない課題がある。また、将来採用を検討している BLE の間欠送信を合わせて考えると 100[msec.]で情報を送信することは電力消費および通信リスクにより適当とはいえない。

ランダムで決定される DE_車両 ID は、セキュリティの確保された 700MHz 帯通信端末と車載器の間のみで通信すべき内容と考えうる。

これらの理由より、ヘッダ部分を示す DF_共通領域管理情報はスマートフォンから送信すべきでないと判断した。

2.6.2.2. DF_時刻情報

RC-013 仕様上では「送信するメッセージ内容を確定した時刻」とある。700MHz 帯通信端末から RC-013 で送信する主情報はスマートフォンから受信する位置情報である。そのため、位置を取得した時刻が DF_時刻情報に適当と考える。時刻は周知の情報であることから、時刻情報はスマートフォンが提供することとする。

2.6.2.3. DF_位置情報

DF_位置情報はスマートフォン所有者の場所を示す情報である。スマートフォンから Bluetooth を通じて送信できる範囲は数 m から数十 m の範囲である。位置情報が漏れるとしても極めて狭い地域で、かつ受信者とほぼ同じ位置であることから周知の情報である。そのため、セキュリティに関する問題点は軽微と考えることから、位置情報はスマートフォンから提供することとする。

2.6.2.4. DF_車両状態情報

RC-013 の仕様上、必須な情報なので削除することはできないが、スマートフォンで判別および生成できる情報はないため、スマートフォンからは提供しない。なお、700MHz 帯通信端末が送信時に値を代入する処理を行う。

2.6.2.5. DF_車両属性情報

仕様上、「車両属性」とあるがここで歩行者を示す情報が含まれており、700MHz 帯通信端末と車載器を判別できる箇所である。固定値であるため、都度スマートフォンから送信する必要性は無い。700MHz 帯通信端末が送信時に値を代入する処理を行う。

2.6.2.6. DF_位置オプション情報

オプションの情報である。スマートフォンから送信が必要と判断した場合はアプリの仕様を定義する必要がある。

2.6.2.7. DF_GPS 状態オプション情報

オプションの情報である。スマートフォンから送信が必要と判断した場合はアプリの仕様を定義する必要がある。

2.6.2.8. DF_位置取得オプション情報

オプションの情報である。スマートフォンから送信が必要と判断した場合はアプリの仕様を定義する必要がある。

2.6.2.9. DF_車両状態オプション情報

スマートフォンから提供できる情報はないため、送信対象から外す。

2.6.2.10. DF_交差点情報

オプションの情報である。スマートフォンから送信が必要と判断した場合はアプリの仕様を定義する必要がある。

2.6.2.11. DF_拡張情報

オプションの情報である。DF_車両属性情報のデータエレメントが固定されているので、必要と判断した時は 700MHz 帯通信端末が値を入力する。

2.7. 700MHz 帯通信端末における Bluetooth 機能検討

本章は、提案書**(1)ウ)歩車間通信の通信プロトコルの開発** の本年度目標に記されている「Bluetooth 機能を盛り込み、外部無線 I/F として構成する」と「取り込んだデータを 700MHz 帯通信へ送り出すことで、700MHz 帯通信端末が中継動作を行えることを確認する」部分に対応する。

平成 26 年度は Bluetooth Ver2.1+EDR 準拠した Module を 700MHz 帯通信端末に搭載しており、本 Module を動作させる。外部との通信を行うために必要なデータフォーマットについては**イ)高度位置精度技術の開発**とともに検討を行った。Bluetooth の Module については 2.7.1 章に、データフォーマットについては 2.7.2 章に記載する。

2.7.1. Bluetooth 仕様

平成 26 年度に使用する 700MHz 帯通信端末は Bluetooth ハードウェア検討が既に行われているものである。Bluetooth の仕様を表 2.7-1 に示す。

検討された Bluetooth Module はコネクタ接続の UART インタフェースを採用しており、プロファイル/プロトコルスタック実装済みのため、簡単なコマンド操作により Bluetooth 通信を構築できる。また、シリアル通信プロファイル(SPP)を搭載しているため、通常のシリアルデータ通信を Bluetooth 無線に置き換えられる。

表 2.7-1 700MHz 帯通信端末 Bluetooth 仕様

仕様項目	仕様内容
認証	Bluetooth Ver2.1+EDR 準拠 日本国内電波法取得済み(工事設計認証)
プロファイル	SPP, DUN(DT のみ)
周波数	2402 から 2480MHz
変調方式	GFSK(1Mbps), π/4-DQPSK(2MHz)、8DPSK(3Mbps)
拡散方式	周波数ホッピング
チャンネル間隔	1MHz
チャンネル数	79ch
伝送速度	3Mbps (無線部・プロトコルも含むデータ転送最大値)
受信感度	-70dBm
送信電力	+4dBm Bluetooth TX power class2
UART プロトコル	調歩同期式シリアル通信 【要ハードウェアフロー制御(RTS/CTS 有効)】
UART 信号レベル	電源電圧
UART ボーレート	9.6 kbps (default)

2.7.2. データフォーマット

イ)高度位置精度技術の開発 と共同で Bluetooth 通信用データフォーマットを検討した。データの書式はすべてバイナリ形式とする。

2.7.2.1. POS

スマートフォンもしくは車載器の位置情報を通信するフォーマットを表 2.7-2 に示す。

700MHz 帯通信端末が RC-013 で送信するデータは、表 2.7-2 の変数名を太字で表している。測位専用端末から取得したデータは POS データフォーマットに適合するように変換される。

表 2.7-2 POS データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0:無効、1：有効
Msg	メッセージ種別	8	0x10:位置情報通知
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size（可変）
Seq	シーケンス番号	16	
vehicle_id	車両 ID	32	[送信][1] 値無効 [受信][2] 車載器から送信された ID
leapsecond	うるう秒補正情報	1	1:有効（Android 標準） 0:無効
Hour	時刻（時）	7	UTC「時」+9 時間
Minute	時刻（分）	8	UTC「分」
Msec	時刻（秒）	16	UTC「ミリ秒」
Latitude	緯度	32	RC-013 仕様
longitude	経度	32	RC-013 仕様
Altitude	高度	16	RC-013 仕様
posconfi	位置取得情報	4	RC-013 仕様
elevconfi	高度取得情報	4	RC-013 仕様
speed	速度	16	RC-013 仕様
Heading	向き	16	RC-013 仕様
acceleration	加速度	16	RC-013 仕様
spdconfi	移動速度精度	3	RC-013 仕様

[1] 700MHz 帯通信端末へスマートフォンが送信した情報
[2] スマートフォンが受信した 700MHz 帯通信端末の情報

headconfi	向き精度	3	RC-013 仕様
accelconfi	加速度精度	3	RC-013 仕様
Padding		15	（データ調整用）
Provider	プロバイダ情報	8	2.7.2.8.1 参照
debugmode	デバッグモード	8	0x00：通常モード 0xFF：デバッグモード （2014 年度 700MH z 帯通信端末はデバッグモードを導入しない）
debuginfo	デバッグ情報	可変	デバッグモード時のみ動作 （2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
checksum	－	8	（2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

2.7.2.2. PWR

700MHz 帯の通信を ON/OFF 制御する命令のデータフォーマットを表 2.7-3 に示す。

表 2.7-3 PWR データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0:無効、1：有効
Msg	メッセージ種別	8	0x20:電源制御要求
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size（可変）
Seq	シーケンス番号	16	
Control	通信 ON/OFF	8	0x01: 通信 ON 0x00: 通信 OFF
Checksum	－	8	（2014 年度 700MH z 帯通信端末は導入しない）
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

2.7.2.3. CNF

2.7.2.2 PWR に対する応答のデータフォーマットを表 2.7-4 に示す。

表 2.7-4 CNF データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0:無効、1：有効
Msg	メッセージ種別	8	0x21:電源制御応答
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size（可変）
Seq	応答を返すシーケンス番号	16	
Conf	応答	8	0xFF: NAK 0x00: ACK
checksum	－	8	（2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

2.7.2.4. TERMINF_SETUP

所有者情報の設定を要求するフォーマットを表 2.7-5 に示す。

表 2.7-5 TERMINF_SETUP データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0:無効、1：有効
Msg	メッセージ種別	8	0x30:設定要求
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size（可変）
Seq	シーケンス番号	16	
Vsc	所有者属性	4	2.7.2.8.2 参照
Vrc	所有者用途	4	2.7.2.8.3 参照
Debugmode	デバッグモード	8	0x00：通常モード 0xFF：デバッグモード （2014 年度 700MHz 帯通信端末はデバッグモードを導入しない）
Checksum	－	8	（2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

2.7.2.5. TERMINF_CNF

2.7.2.4TERMINF_SETUP に対する応答のフォーマットを表 2.7-6 に示す。

表 2.7-6 TERMINF_CNF データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0:無効、1：有効
Msg	メッセージ種別	8	0x31:設定応答
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size（可変）
Seq	応答を返すシーケンス番号	16	
Conf	応答	8	0xFF: NAK 0x00: ACK
checksum	－	8	（2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

2.7.2.6. INFO_REQ

700MHz 帯通信端末の設定状態を要求するフォーマットを表 2.7-7 に示す。

表 2.7-7 INFO_REQ データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0:無効、1：有効
Msg	メッセージ種別	8	0xF0:端末状態取得要求
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size（可変）
Seq	シーケンス番号	16	
Checksum	－	8	（2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

2.7.2.7. INFO_RES

2.7.2.6INFO_REQ に対する応答のフォーマットを表 2.7-8 に示す。

表 2.7-8 INFO_RES データフォーマット

変数名	意味	サイズ[bit]	備考
Start	コマンド開始識別子	8	0x80 [固定値]
Flags	フラグ	8	bit0 で checksum の有無を示す。0:無効、1：有効
Msg	メッセージ種別	8	0x31:設定応答
Size	データサイズ	8	Start から Stop までの Byte size（可変）
Seq	応答を返すシーケンス番号	16	
Data	端末状態	可変	（2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
checksum	－	8	（2014 年度 700MHz 帯通信端末は導入しない）
Stop	コマンド停止識別子	8	0x0A [固定値]

2.7.2.8. 補足

2.7.2.8.1. プロバイダ情報

プロバイダ情報のビット配置図を図 2.7-1 に示す。

bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	R	PDR	OTH			VTG		

図 2.7-1 プロバイダ情報 bit 配列

bit2-0 VTG：衛星測位種別

000b GPS 衛星のみで測位

001b GLONASS 衛星のみで測位

010b 準天頂衛星のみで測位

011b 複数の衛星システムを利用して測位

100b-111b reserved

bit5-3 OTH：その他の測位種別（reserved）

000b-111b reserved

※default：000b

bit6 PDR：PDR 状態

0b PDR なし※平成 26 年度は PDR なし

1b PDR あり

bit7 R：reserved

0b, 1b reserved

※default：0b

2.7.2.8.2. 所有者属性

所有者属性のパラメータを表 2.7-9 に示す。

表 2.7-9 所有者属性

数値	意味
0	大型自動車
1	中型自動車
2	普通自動車
3	自動二輪車
4	自転車
5	自転車以外の軽車両（荷車、人力車など）
6	歩行者（車いす、シニアカー含む）
7	路面電車
8～14	予約
15	その他・不明

2.7.2.8.3. 所有者用途

所有者用途のパラメータを表 2.7-10 に示す。

表 2.7-10 所有者用途

数値	意味
0	自家用自動車
1	緊急自動車
2	道路維持作業用自動車
3	旅客運送事業用自動車
4	貨物運送事業用自動車
5	特殊自動車（2 を除く）
6～14	予約
15	その他・不明

2.8. BLE タイミング制御信号の検討

本章は、提案書(1)ウ)**歩車間通信の通信プロトコルの開発** の本年度目標に記されている「既存の 700MHz 帯通信端末試作機に対し Bluetooth の待ち受け受信機能を盛り込み、この機能によるタイミング制御信号が発生可能なことを確認する」部分に対応する。

タイミング制御信号について参考文献[3]をもとに A 社の BLE Module を用いて検討した。結果、通信確立による状態遷移で通知される割り込み信号をタイミング制御信号とすることで、待ち受け受信機能と CPU の起動トリガとする事が可能であるることを確認した。

2.8.1. BLE Module

A 社 BLE Module のブロック図を図 2.8-1 に、I/O 仕様を表 2.8-1 に、コネクタのピン配置を表 2.8-2 に示す。

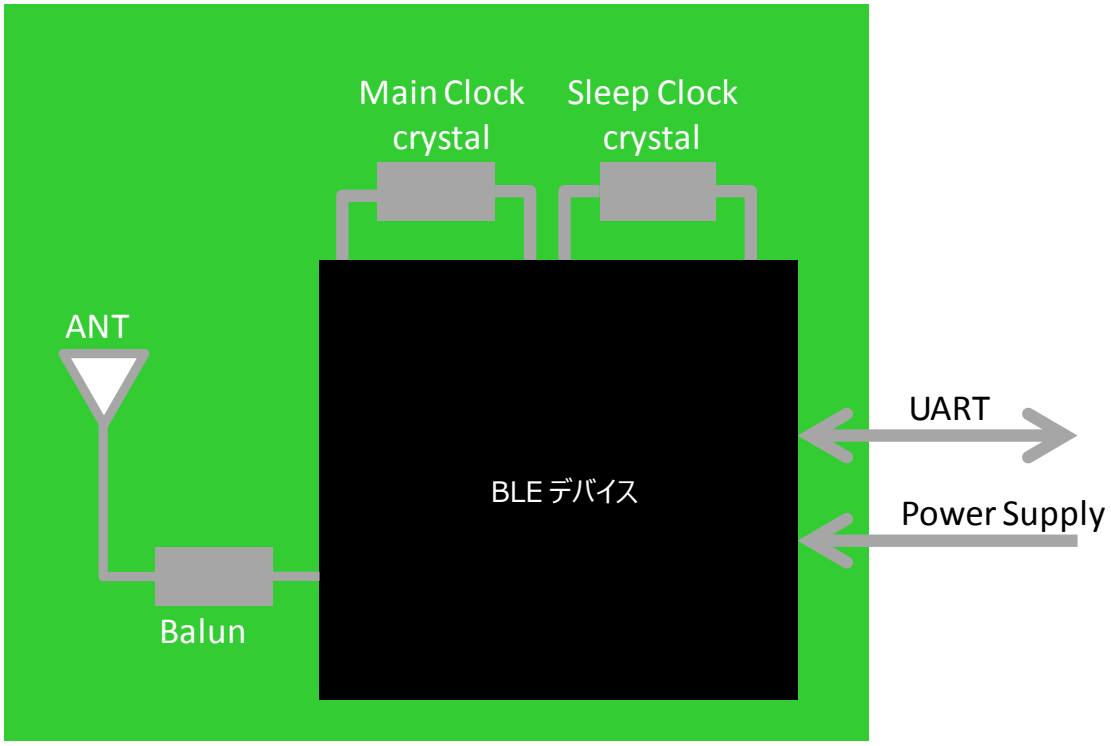


図 2.8-1 BLE Module ブロック図

表 2.8-1 BLE Module I/O 仕様

名称	入出力方向	役割
UART_RXD	入力	UART 通信受信信号
UART_TXD	出力	UART 通信送信信号
WAKE_N	入力	UART 通信モードにする信号
READY_N	出力	UART 通信モードであることを通知する信号
INTERRUPT_N	出力	(スタンバイ・アドバタイジング間以外の遷移で)デバイスの状態に変化があったことを示す信号
RST_N	入力	ハードウエアリセット信号
STATUS	出力	TPS62730 制御信号
CONTROL	入力	(将来の拡張用。現在は T.B.D.)
TP0	-	Test Pin 0(DC)
TP1	-	Test Pin 1(DD)

表 2.8-2 BLE Module コネクタピン配置

PIN No.	Connection To IC Terminal	Description
1	SCL	開放
2	SDA	開放
3	P1_0	GPIO pin[3] , STATUS
4	P0_5	GPIO pin3, READY_N
5	P0_4	GPIO pin3, WAKE_N
6	P0_3	GPIO pin3, UART_TXD
7	P0_2	GPIO pin3, UART_RXD
8	P0_1	GPIO pin3, INTERRUPT_N
9	GND	GND
10	VCC	VCC
11	RST_N	リセット
12	P0_0	GPIO pin3, CONTROL
13	GND	GND
14	P2_2/DC	TP0
15	P2_1/DD	TP1
16	GND	GND

[3] 未使用時は開放

2.8.2. 状態遷移

接続状態の BLE のスタートポロジーネットワークを図 2.8-2 に示す。このとき中心ノードはセントラル（Central）、端末ノードはペリフェラル（Peripheral）と呼ばれる。歩行者端末システムに置き換えるとセントラルはスマートフォン、ペリフェラルは 700MHz 帯通信端末となりえることから、BLE Module のペリフェラルの状態遷移を図 2.8-3 で示す。

ペリフェラルの無線通信部はスタンバイ、アドバタイジング、通信中の3つの状態が存在する。通信中はさらに通信が暗号化されていない非暗号化状態と暗号化されている通信状態を示す暗号済状態の2つにわかれる。各状態間はコマンドや対向機（セントラル）からのリクエストパケットにより遷移する。またペリフェラルとして用いる場合、接続可能なセントラル は 1 台である。

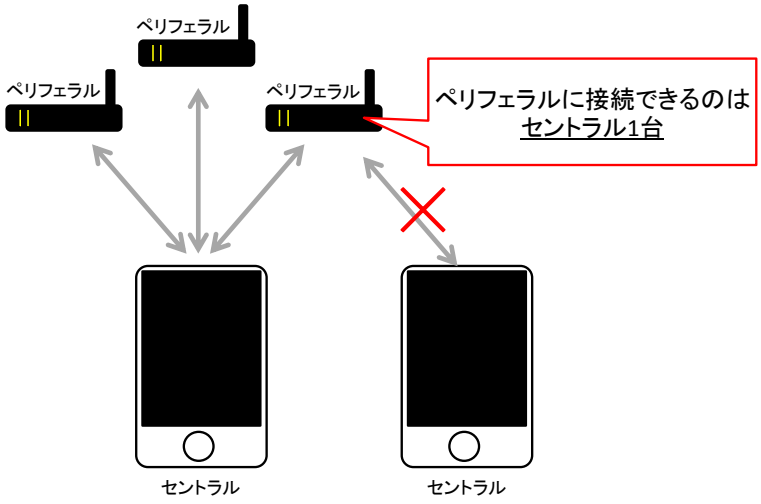


図 2.8-2 セントラルとペリフェラル

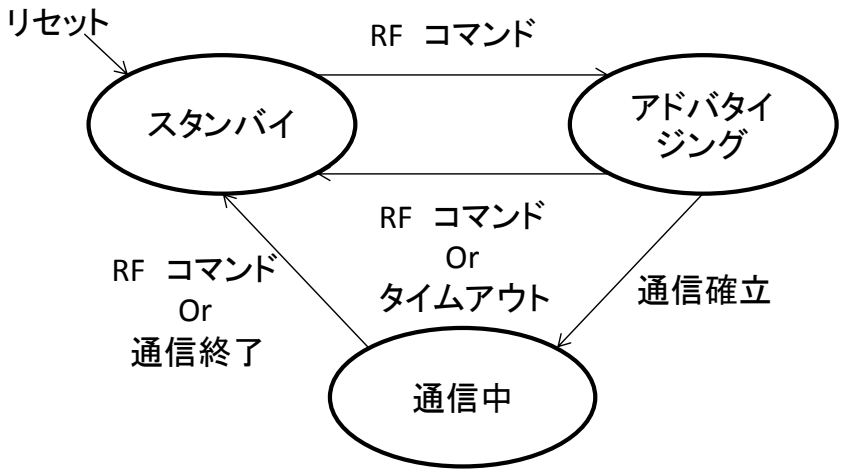


図 2.8-3 BLE Module 状態遷移

2.8.2.1. アドバタイジング

状態遷移(図 2.8-3)にあるアドバタイジングについて説明する。

従来の Bluetooth では発見用チャンネルが 32ch あったのに対して、BLE では 3ch のアドバタイジング・チャンネルに絞っている。それにより、ネットワークの発見時間が短縮し、ネットワークの発見、参加に必要な電力を抑える仕様になっている。親ノードをスマートフォン、新規ノードを 700MHz 帯通信端末としたアクティブスキャンとパッシブスキャンのイメージ図を図 2.8-4 に示す。

Bluetooth はアクティブスキャン方式を採用している。親ノードのスマートフォンは一般的に一日1回充電され、容量の大きな電池が搭載される。一方の新規ノードの 700MHz 帯通信端末はスマートフォンと比較して小さい電池が搭載され、充電頻度も少ない。この場合、アクティブスキャンでは新規ノードは親ノードが出すビーコン要求パケットを捕捉した後にビーコンパケットを周辺に発信する。そのため、ビーコン要求パケット送信タイミングが不明であるため、新規ノードは長時間受信状態を維持する必要があり、電力を早く消費してしまう。

一方、BLE で用いられているパッシブスキャン方式は、新規ノードが自分の存在を周知するアドバタイズメントパケットを定期的に発信する。A 社 BLE Module のアドバタイズメントパケットを送信する間隔は、アドバタイジング状態遷移直後は 20[msec.]、30[sec.]経過後は 1065[msec.]に自動的に変更される(モードが General Discoverable (常に対向機を発見できる)もしくは Undirected Connectable (接続済みの相手から接続されるのを待つ) のとき)。アクティブスキャンと異なり新規ノードが親ノードの問い合わせを待たずに自らのタイミングでアドバタイズメントパケットを送ることができるため、受信状態を長時間維持する必要がない。そのため、アドバタイズメントパケットを定期的に送信している間はスタンバイ状態に遷移し通信状態ではないことから消費電力を大幅に低減できる。

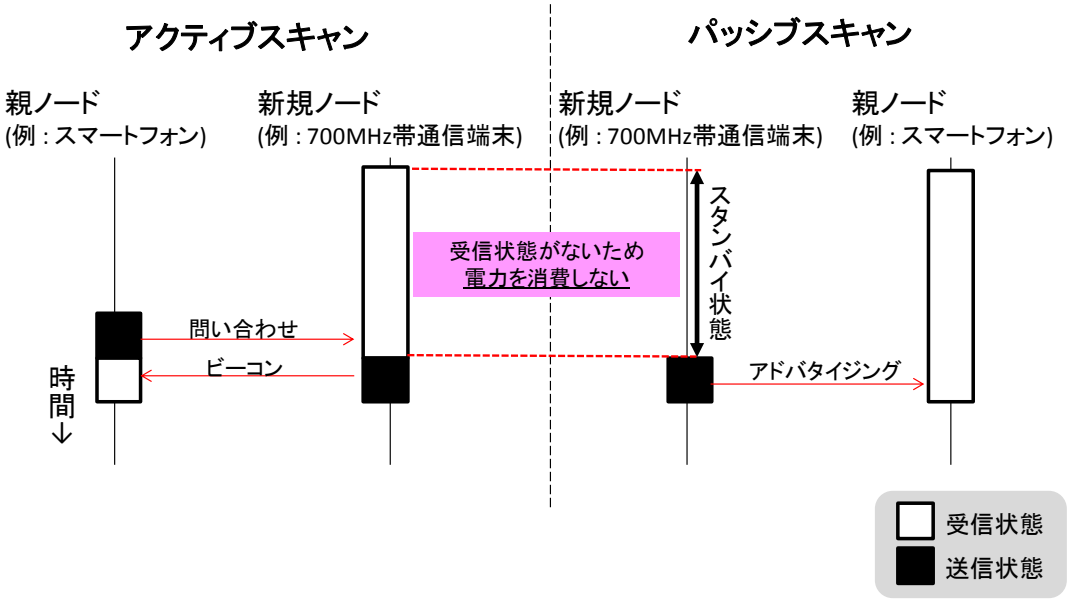


図 2.8-4 アクティブスキャンとパッシブスキャン

2.8.3. タイミング制御信号

平成 26 年度において求められるタイミング制御信号は BLE の無通信状態から通信が確立された時に出される信号と定義する。

スマートフォンと未接続状態の時はスタンバイ・アドバタイジング間で遷移している。この時の INTERRUPT_N はピンをアサートしない。スマートフォンとの接続が確立すると、700MHz帯通信端末の BLE デバイスはアドバタイジング状態から通信中状態へ遷移する。この時の INTERRUPT_N はピンをアサートする。このように、INTERRUPT_N から出力される信号タイミング制御信号として用いることで、スマートフォンとの接続状態を判別できる。

実際の低消費電力システムの設計案と処理フローについては 2.9 章に示す。

2.9. 低消費電力実現に向けた検討

本章は提案書**(1)ウ)歩車間通信の通信プロトコルの開発** の本年度目標に記されている「Bluetooth からの制御信号により、700MHz 帯通信の起動/停止制御信号を発生させる設計」部分に対応する。

平成 26 年度の研究開発では既に開発済みである 700MHz帯通信端末で使用している CPU は D 社 32bit RISC マイクロコンピュータ である。参考文献[4]によると、この CPU には低消費電力モードが定義されている。そのため、2.8.3 章のタイミング制御信号で定義したタイミング制御信号を用いて CPU の消費電流の抑制が可能である。

2.9.1. 状態遷移

700MHz帯通信端末で使用している CPU の処理状態を示した状態遷移(一部)を図 2.9-1 に示す。 この CPU において低消費電力を示す状態は3つ存在する。

・スリープモード

CPU は SLEEP 命令実行後に停止し、レジスタ内容は保持される。

内蔵周辺モジュールの動作と端子からのクロック出力は継続する。

・ソフトウェアスタンバイモード

CPU、クロック、内蔵周辺モジュールは停止する。

・ディープスタンバイモード

CPU、クロック、内蔵周辺モジュールは停止する。

指定した内蔵 RAM エリアとリアルタイムクロックを除き電源をオフにする。

CPU、キャッシュレジスタ内容、内蔵周辺モジュールのレジスタ値は保持されないが、端子の状態はモードに遷移する直前の値を保持することができる

これらのモードの中で、ディープスタンバイモードは最も消費電力を抑えることができるモードであり、低消費電力モードに遷移する直前の状態を保持できる。ディープスタンバイモード時の制御案を以下に示す。

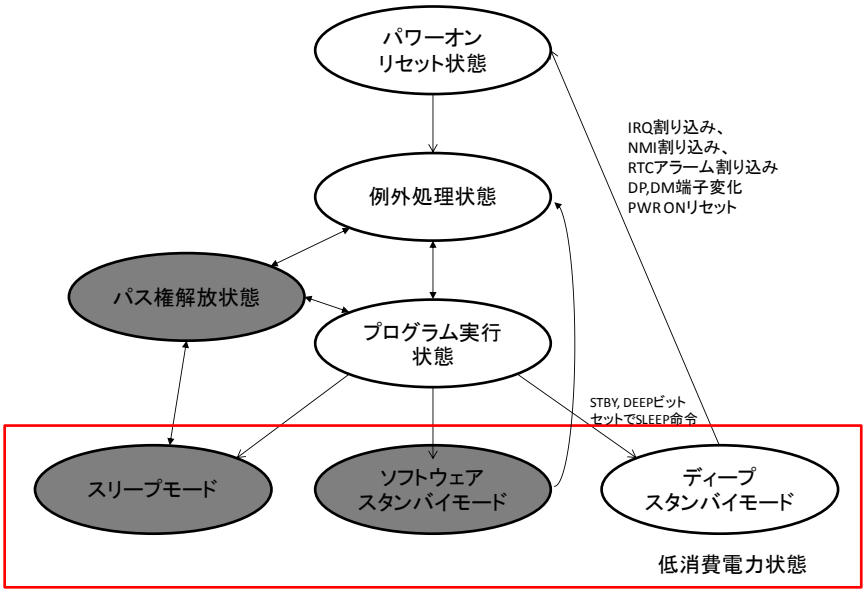


図 2.9-1 CPU 状態遷移(抜粋)

2.9.2. 低消費電力制御案

ディープスタンバイモードは割り込み（NMI、リアルタイムクロックのアラーム割り込み）、解除用端子の変化、およびリセット（パワーオンリセット）により解除される。

前述のとおり、BLE Module 内部で状態変化により通信中に遷移したタイミングで CPU がディープスタンバイモードから CPU プログラム実行状態に遷移するように設計することで実現できる。ブロック図を図 2.9-2 に、動作案を図 2.9-3 に示す。

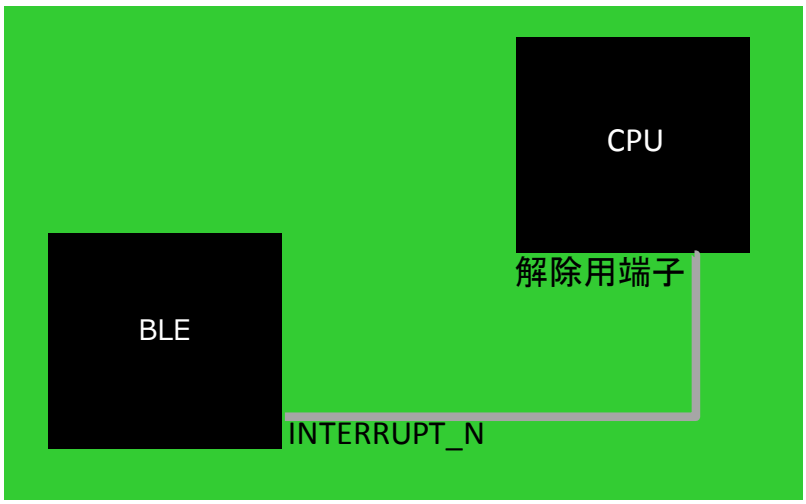


図 2.9-2 低消費電力対応 ブロック図

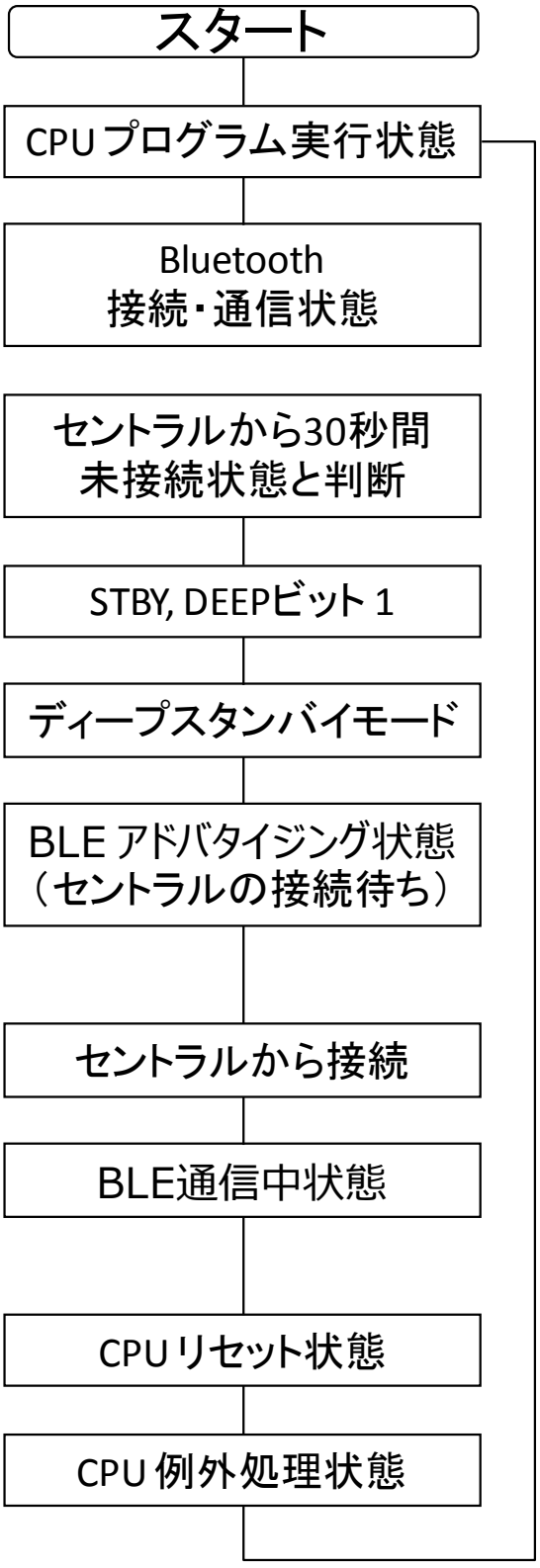


図 2.9-3 低消費電力対応 動作案

3. 実環境における実証及び課題の抽出

本章では 700MHz帯通信端末とスマートフォンを実際に動作させ、歩車間での通信要件を満たすことが可能であることを確認する。

3.1. Bluetooth による位置情報通知

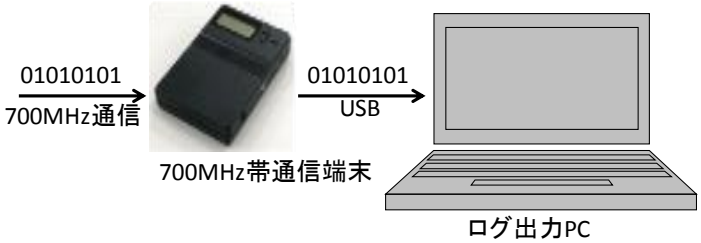
提案書(1)エ)**実環境における実証実験および課題の抽出** の本年度目標に記されている「既存の 700MHz 帯通信端末試作機の 700MHz 帯通信のメッセージセットを ITS FORUM RC-013 1.0 版対応とアップデートされたものを、平成 26 年度中に SIP にて行われる車車間通信・路車間通信の実証実験へ 700MHz 帯通信端末実験として参加し、通信互換性を確認する」部分に対応する。特に 700MHz帯通信端末から出力されるログを元に確認した。

スマートフォンから 700MHz帯通信端末に伝達された位置情報は RC-013 フォーマットで送信される。相手側の受信機は得られたデータを正しく受信するとスマートフォンの位置情報を取得する。700MHz帯通信端末の送信データと対向機の受信データがスマートフォンの位置情報と合致しており、スマートフォンの位置情報が相手側へ正しく伝達されることを確認した。

3.1.1. ログ出力方法

位置情報通知の検証では、700MHz帯通信端末のログを出力して内容を確認する。700MHz帯通信端末が送受信したデータは USB を経由してログ表示用 PC に表示させる 700MHz帯通信端末ログ出力方法を図 3.1-1 に示す。尚、受信したデータはバイナリ形式のため、テキスト形式に変換を行う必要がある。

試験開始前にログ出力 PC はログ取得ソフトを起動させ、700MHz帯通信端末が送受信した内容をログ出力 PC のハードディスクに保存する。取得データをバイナリ形式で保存される。試験を終え、ログ取得ソフトを停止した後に、バイナリ形式の取得データを変換することにより、テキスト形式のファイルを作成する。



…	車両ID	…	時刻	…	緯度	経度
	0x12345678		0x01234567		0x12345678	0x12345678

ログ出力例

図 3.1-1 700MHz帯通信端末 ログ出力方法

3.1.2. 評価環境

700MHz帯通信端末を対向機とした評価環境を図 3.1-2 に表す。

スマートフォンに搭載されている治具ソフトが位置情報を取得するまでの状態を図 3.1-3 に、位置情報を取得した後の状態を図 3.1-4 に示す。位置情報が取得できない状態の場合は”Loc = Null”と、位置情報を取得した後は現在地の緯度・経度が画面に表示される。”Loc =(Null もしくは 任意の数値)”がスマートフォンから 700MHz帯通信端末に送信される。

図 3.1-2 Bluetooth 位置情報通知評価環境

図 3.1-3 治具ソフト 位置情報未取得状態

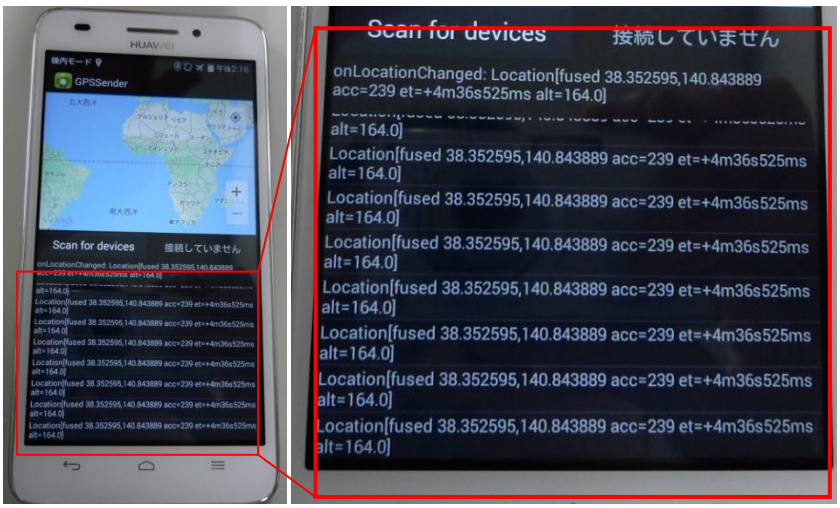


図 3.1-4 治具ソフト 位置情報取得状態

3.1.3. 評価結果

評価時のスマートフォンが取得した位置座標は緯度:北緯 38° 35'18.035"、経度:東経 140° 84' 37.860" を示していた。送信する 700MHz帯通信端末の車両 ID は 0xf7aff476（十進数で 4155503734）が設定されている。この時の 700MHz帯通信端末の送信データ（ログ種別: 0x00000001）を表 3.1-1 に、対向機の受信データ（ログ種別:0x00000002）を表 3.1-2 に示す。

表 3.1-1 と表 3.1-2 の車両 ID が合致し、治具ソフトで示していた緯度と経度が対向機の 700MHz帯通信端末に通知されていた。

表 3.1-1 700MHz帯通信端末 Bluetooth による位置情報通知確認 送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000001	2014/12/25 11:12:05	0xf7aff476 (4155503734)	0xfe	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:05	0xf7aff476 (4155503734)	0xff	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:05	0xf7a		383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:05	0xf7a	01	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7a	02	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x03	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x04	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x05	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x06	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x07	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x08	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x09	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x0a	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x0b	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0c	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0d	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0e	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0f	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x10	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x11	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x12	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x13	383518035	1408437860

治具ソフトと同じ緯度と経度を送信

表 3.1-2 700MHz帯通信端末 Bluetooth による位置情報通知確認 対向機側受信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000002	2014/12/25 11:12:05	0xf7aff476 (4155503734)	0xfe	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:05	0xf		383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:05	0xf	x00	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:05	0xf7aff476 (4155503734)	0x01	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x02	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x03	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x04	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x05	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x06	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x07	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x08	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x09	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x0a	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:06	0xf7aff476 (4155503734)	0x0b	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0c	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0d	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0e	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x0f	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x10	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x11	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x12	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 11:12:07	0xf7aff476 (4155503734)	0x13	383518035	1408437860

治具ソフトと同じ緯度と経度を受信

また、実証実験でのデータを元に確認する。実証実験中、スマートフォンからデータが送られていない時の 700MHz 帯通信端末の送信データを表 3.1-3 に、車載器の受信データを表 3.1-4 に示す。この場合、緯度・経度・高度がすべて正しい値を取得できないため、この場合 0 が送信される。また時刻も正しい値を取得できていないため、2000 年 1 月 1 日 0 時 0 分 0 秒よりカウントアップされる。

Bluetooth による接続が確立し、位置情報が取得できるようになった時の 700MHz 帯通信端末の送信データを表 3.1-5 に、車載器の受信データを表 3.1-6 に示す。この場合、緯度・経度・高度を取得しているため 700MHz 帯通信端末から車載器に対して位置情報を送信している。また車載器も 700MHz 帯通信端末から受信した情報をログとして出力をしている。

これらの結果より、スマートフォンの位置情報を Bluetooth 経由で 700MHz帯通信端末が受信し、700MHz帯通信端末から 700MHz 帯通信でデータが正しく送信されていることを確認した。また、対向機では送信されたデータを正しく解釈していることを確認した。

表 3.1-3 スマートフォンから位置情報送信失敗時の 700MHz 帯通信端末送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度	高度
0x00000001	2000/01/01 00:01:15	0xf7aff2df (4155503327)	0x55	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:15		0x56	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:15			0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:15		0x58	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:15		0x59	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:15		0x5a	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:15		0x5b	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf (4155503327)	0x5c	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0 ff2df (4155503327)	0x5d	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	xf7aff2df (4155503327)	0x5e	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf7aff2df (4155503327)	0x5f	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf7aff2df (4155503327)	0x60	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf7aff2df (4155503327)	0x61	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf7aff2df (4155503327)	0x62	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf7aff2df (4155503327)	0x63	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf7aff2df (4155503327)	0x64	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:16	0xf7aff2df (4155503327)	0x65	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:17	0xf7aff2df (4155503327)	0x66	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:17	0xf7aff2df (4155503327)	0x67	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:17	0xf7aff2df (4155503327)	0x68	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:17	0xf7aff2df (4155503327)	0x69	0	0	0
0x00000001	2000/01/01 00:01:17	0xf7aff2df (4155503327)	0x6a	0	0	0

スマートフォンとBluetooth 接続できていない場合、緯度・経度・高度が0を送信する

表 3.1-4 スマートフォンから位置情報送信失敗時の車載器受信データ

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度	高度
4155503327	0x55	85	0	0	0
4155503327	0x56	86	0	0	0
4155503327	0x57	87	0	0	0
4155503327	0x58	88	0	0	0
4155503327	0x59	89	0	0	0
4155503327	0x5a	90	0	0	0
4155		91	0	0	0
4155		92	0	0	0
4155503327	0x5d	93	0	0	0
4155503327	0x5e	94	0	0	0
4155503327	0x5f	95	0	0	0
4155503327	0x60	96	0	0	0
4155503327	0x61	97	0	0	0
4155503327	0x62	98	0	0	0
4155503327	0x63	99	0	0	0
4155503327	0x64	100	0	0	0
4155503327	0x65	101	0	0	0
4155503327	0x66	102	0	0	0
4155503327	0x67	103	0	0	0
4155503327	0x68	104	0	0	0
4155503327	0x69	105	0	0	0
4155503327	0x6a	106	0	0	0

車載器は歩行者端末から緯度・経度・高度が0と受信する

表 3.1-5 スマートフォンから位置情報送信成功時の 700MHz 帯通信端末送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度	高度
0x00000001	2015/02/19 11:50:22	0xf7aff2df (4155503327)	0x90	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:22		0x91	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23		0x92	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23		0x93	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23		0x94	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23		0x95	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23		0x96	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23	0xf7aff2df (4155503327)	0x97	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23	0xf7aff2df (4155503327)	0x98	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23	0xf7aff2df (4155503327)	0x99	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23	0xf7aff2df (4155503327)	0x9a	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:23	0xf7aff2df (4155503327)	0x9b	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0x9c	351969566	1369032383	65320
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0x9d	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0x9e	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0x9f	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0xa0	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0xa1	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0xa2	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0xa3	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0xa4	351969583	1369032216	65319
0x00000001	2015/02/19 11:50:24	0xf7aff2df (4155503327)	0xa5	351969583	1369032216	65319

スマートフォンとBluetooth 接続できているので緯度・経度・高度・時刻が正しい値になる

表 3.1-6 スマートフォンから位置情報送信成功時の車載器受信データ

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度	高度
4155503327	0x90	144	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x91	145	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x92	146	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x93	147	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x94	148	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x95	149	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x96	150	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x97	151	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x98	152	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x99	153	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x9a	154	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x9b	155	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x9c	156	35.1969566	136.9032383	65320
4155503327	0x9d	157	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0x9e	158	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0x9f	159	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0xa0	160	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0xa1	161	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0xa2	162	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0xa3	163	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0xa4	164	35.1969583	136.9032216	65319
4155503327	0xa5	165	35.1969583	136.9032216	65319

車載器は歩行者端末から送られた位置情報が反映される

3.2. RC-013 通信互換性評価

本章は、提案書(1)エ)実環境における実証実験および課題の抽出 の本年度目標に記されている「既存の 700MHz 帯通信端末試作機の 700MHz 帯通信のメッセージセットを ITS FORUM RC-013 1.0 版対応とアップデートされたものを、平成 26 年度中に SIP にて行われる車車間通信・路車間通信の実証実験へ 700MHz 帯通信端末実験として参加し、通信互換性を確認する」部分に対応する。特に、2.4 章で示した内容が車載器や別の 700MHz帯通信端末との間で正しく受信されるかについて、出力されるログの内容から判断した(3.1.1 ログ出力方法を参照)。

実証実験を行うに当たり、700MHz帯通信端末同士での送受信を確認した。結果、双方の700MHz帯通信端末が車両 ID と位置情報を正しく送受信されることを確認した。

次に実証実験を想定した事前検証として、車載器と700MHz帯通信端末の送受信を確認した。車載器は既に RC-013 フォーマットに対応済みであることから、700MHz帯通信端末から送信されたデータを車載器が正しく受信、また、車載器から送信されたデータを 700MHz帯通信端末が正しく受信した。このことから RC-013 の改修に問題が無いことを確認した。

3.2.1. 対 700MH z 帯通信端末

3.2.1.1. 評価環境

700MHz帯通信端末を対向機とした評価環境を図 3.2-1 に示す。

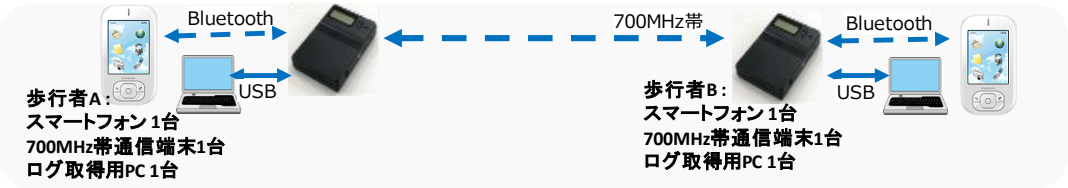


図 3.2-1 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 評価環境

3.2.1.2. 評価結果

700MHz帯通信端末Aの車両IDは0xf7aff476(ここでは700MHz帯通信端末のIDを示しており、十進数では4155503734を表す)、700MHz帯通信端末Bの車両IDは0xf7aff28D（十進数で 4155503245)が設定されている。この時の 700MHz帯通信端末 A の送信データを表3.2-1に、受信データ表 3.2-4に示す。700MHz帯通信端末Bの送信データを表 3.2-3に、受信データを表 3.2-2 に示す。このように700MHz帯通信端末AからB(もしくはBからA)へ送信された車両IDが合致し、インクリメントカウンタに欠落がなく、100[msec.]毎に送受信ができていることを確認した。

表 3.2-1 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 端末 A 送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000001	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0a	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0b		0
0	5 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0c		0
0	5 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0d	383518035	1408437860
0	5 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0e	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0f	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x10	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x11	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x12	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x13	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x14	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x15	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x16	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x17	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x18	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x19	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1a	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1b	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1c	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1d	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1e	383518035	1408437860
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1f	383518035	1408437860

1 秒間に 10 回データが送信(100[msec.]毎に送信されている)

カウンタが欠けることなく送信されている

表 3.2-2 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末) 端末 B 受信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000002	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0a	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0b		0
0	5 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0c		0
0	5 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0d	383518035	1408437860
0	5 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0e	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff476 (4155503734)	0x0f	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x10	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x11	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x12	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x13	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x14	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x15	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x16	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x17	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x18	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff476 (4155503734)	0x19	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1a	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1b	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1c	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1d	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1e	383518035	1408437860
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff476 (4155503734)	0x1f	383518035	1408437860

1 秒間に 10 回データが受信(100[msec.]毎に受信できている)

カウンタが欠けることなく受信できている

表 3.2-3 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末)　端末 B 送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000001	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x61	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x62		
0x	5 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x63		
0x	5 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x64	383525953	1408438897
0x	5 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x65	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x66	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x67	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x68	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x69	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6a	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6b	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6c	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6d	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6e	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6f	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x70	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x71	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x72	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x73	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x74	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x75	383525953	1408438897
0x00000001	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x76	383525953	1408438897

1 秒間に 10 回データが送信(100[msec.]毎に送信されている)

カウンタが欠けることなく送信されている

表 3.2-4 RC-013 通信互換性評価(対 700MHz帯通信端末)　端末 A 受信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000002	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x61	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x62		
0	5 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x63		
0	5 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x64	383525953	1408438897
0	5 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x65	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:32	0xf7aff28D (4155503245)	0x66	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x67	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x68	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x69	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6a	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6b	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6c	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6d	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6e	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x6f	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:33	0xf7aff28D (4155503245)	0x70	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x71	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x72	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x73	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x74	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x75	383525953	1408438897
0x00000002	2014/12/25 10:52:34	0xf7aff28D (4155503245)	0x76	383525953	1408438897

1 秒間に 10 回データが受信(100[msec.]毎に受信できている)

カウンタが欠けることなく受信できている

3.2.2. 対車載器

3.2.2.1. 評価環境

車載器を対向機とした評価環境を図 3.2-2 に、使用する車載器を図 3.2-3 に、実際の 700MHz帯通信端末の試験環境を図 3.2-4 に示す。なお、この試験では車載器の GPS が受信できないため、車載器から 700MHz帯通信端末へは不定値が送信される。

図 3.2-2 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 評価環境

図 3.2-3 検証用 車載器（車両に搭載されるものと同型）

図 3.2-4 検証用 700MHz帯通信端末環境

3.2.2.2. 評価結果

700MHz帯通信端末の車両 ID は f7aff476（十進数で 4155503734）、車載器の車両 ID は 0x84773054（十進数で 2222403668）が設定されている。この時の 700MHz帯通信端末の送信データを表 3.2-5 に、受信データを表 3.2-8 に、車載器送信データを表 3.2-7 に、受信データを表 3.2-6 に示す。このように双方の車両 ID が合致し、インクリメントカウンタに欠落がなく、100[msec.]ごとに送受信ができていることを確認した。

700MHz帯通信端末間及び 700MHz帯通信端末と車載器間でデータのビットずれが発生していないことから、700MHz帯通信端末でRC-013フォーマットを正しく受信していることを確認した。

表 3.2-5 RC-013 通信互換性評価(対車載器)　700MHz帯通信端末 送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0	9 14:05:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x8a		34
0	9 14:05:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x8b		34
0	9 14:05:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x8c	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x8d	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x8e	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x8f	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x90	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x91	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x92	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x93	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x94	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x95	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x96	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x97	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x98	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x99	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x9a	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x9b	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x9c	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x9d	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x9e	351741312	1369094634
0x00000001	2015/01/09 14:05:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x9f	351741312	1369094634

1 秒間に 10 回データが送信(100[msec.]毎に送信されている)

カウンタが欠けることなく送信されている

表 3.2-6 RC-013 通信互換性評価(対車載器)　車載器 受信データ

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度
4155503734	138	0x8A		
4155503734	139	0x8B		
4155503734	140	0x8C	35.17413	136.9095
4155503734	141	0x8D	35.17413	136.9095
4155503734	142	0x8E	35.17413	136.9095
4155503734	143	0x8F	35.17413	136.9095
4155503734	144	0x90	35.17413	136.9095
4155503734	145	0x91	35.17413	136.9095
4155503734	146	0x92	35.17413	136.9095
4155503734	147	0x93	35.17413	136.9095
4155503734	148	0x94	35.17413	136.9095
4155503734	149	0x95	35.17413	136.9095
4155503734	150	0x96	35.17413	136.9095
4155503734	151	0x97	35.17413	136.9095
4155503734	152	0x98	35.17413	136.9095
4155503734	153	0x99	35.17413	136.9095
4155503734	154	0x9A	35.17413	136.9095
4155503734	155	0x9B	35.17413	136.9095
4155503734	156	0x9C	35.17413	136.9095
4155503734	157	0x9D	35.17413	136.9095
4155503734	158	0x9E	35.17413	136.9095
4155503734	159	0x9F	35.17413	136.9095

カウンタが欠けることなく受信できている

表 3.2-7 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 車載器 送信データ

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度
2222403668	235	0xeb		
2222403668	236	0xec		
2222403668	237	0xed	-214.748	-214.748
2222403668	238	0xee	-214.748	-214.748
2222403668	239	0xef	-214.748	-214.748
2222403668	240	0xf0	-214.748	-214.748
2222403668	241	0xf1	-214.748	-214.748
2222403668	242	0xf2	-214.748	-214.748
2222403668	243	0xf3	-214.748	-214.748
2222403668	244	0xf4	-214.748	-214.748
2222403668	245	0xf5	-214.748	-214.748
2222403668	246	0xf6	-214.748	-214.748
2222403668	247	0xf7	-214.748	-214.748
2222403668	248	0xf8	-214.748	-214.748
2222403668	249	0xf9	-214.748	-214.748
2222403668	250	0xfa	-214.748	-214.748
2222403668	251	0xfb	-214.748	-214.748
2222403668	252	0xfc	-214.748	-214.748
2222403668	253	0xfd	-214.748	-214.748
2222403668	254	0xfe	-214.748	-214.748
2222403668	255	0xff	-214.748	-214.748
2222403668	0	0x00	-214.748	-214.748

カウンタが欠けることなく送信されている

表 3.2-8 RC-013 通信互換性評価(対車載器) 700MHz帯通信端末 受信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0	9 14:05:45	0x84773054 (2222403668)	0xea		3648
0	9 14:05:45	0x84773054 (2222403668)	0xeb		3648
0	9 14:05:45	0x84773054 (2222403668)	0xec	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:45	0x84773054 (2222403668)	0xed	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xee	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xef	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf0	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf1	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf2	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf3	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf4	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf5	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf6	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:46	0x84773054 (2222403668)	0xf7	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xf8	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xf9	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xfa	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xfb	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xfc	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xfd	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xfe	-2147483648	-2147483648
0x00000002	2015/01/09 14:05:47	0x84773054 (2222403668)	0xff	-2147483648	-2147483648

1 秒間に 10 回データが受信(100[msec.]毎に受信できている)

カウンタが欠けることなく受信できている

3.3. 複数台送受信評価

本章は提案書(1)エ)実環境における実証実験および課題の抽出 の本年度目標に記されている「既存の 700MHz 帯通信端末試作機の 700MHz 帯通信のメッセージセットを ITS FORUM RC-013 1.0 版対応とアップデートされたものを、平成 26 年度中に SIP にて行われる車車間通信・路車間通信の実証実験へ 700MHz 帯通信端末実験として参加し、通信互換性を確認する」部分に対応する。特に、1台の車載器に対し複数台の 700MHz帯通信端末が送受信可能か、出力されたログの内容から判断した(ログの出力方法に関しては 3.1.1 章を参照)。

700MHz帯通信端末2台と車載器が正しく送受信されているか確認を行った。700MHz帯通信端末は車載器の ID、位置情報が正しく送受信できていることを確認した。また、車載器は2台分の700MHz帯通信端末の ID と位置情報が正しく送受信できていることを確認した。

次に、車載器を載せた車両を駐車させ、その周りを 700MHz帯通信端末が動いた時の振る舞いについて確認した。この実験では計測した範囲の大部分では送受信できているが、車載器と700MHz帯通信端末の間に土塁が高い壁になっているところでは送受信の状態が悪化することが判明した。

3.3.1. 評価環境

車載器を対向機とした評価環境を図 3.3-1 に示す。

複数台での送受信評価を横須賀市にある YRP 周辺で実証実験を行った。YRP 周辺地図を図 3.3-2 に、道路の高低差を図 3.3-3 に示す。また、車載器が搭載されている車両を図 3.3-4、700MHz帯通信端末の機材を図 3.3-5 に示す。画板の上にログ出力 PC とスマートフォンを固定し、胸前に 700MHz帯通信端末を首から下げて評価を行った(図 3.3-6、図 3.3-7)。なお、実証実験当日の環境については以下のとおり。

場所 : 横須賀市光の丘 YRP (横須賀リサーチパーク)
日時 : 2015 年 1 月 15 日 10:00 – 15:00
天気 : 雨(強風)

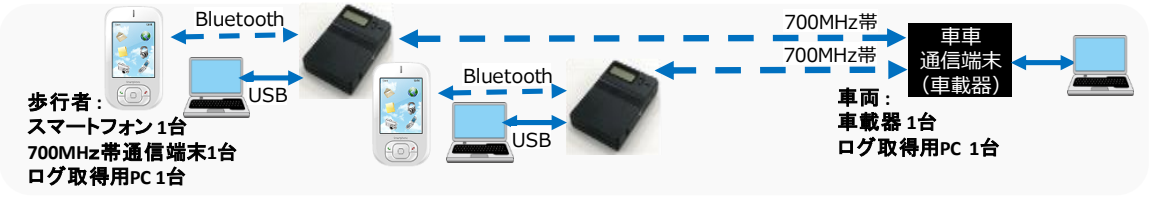


図 3.3-1 複数台送受信評価 評価環境

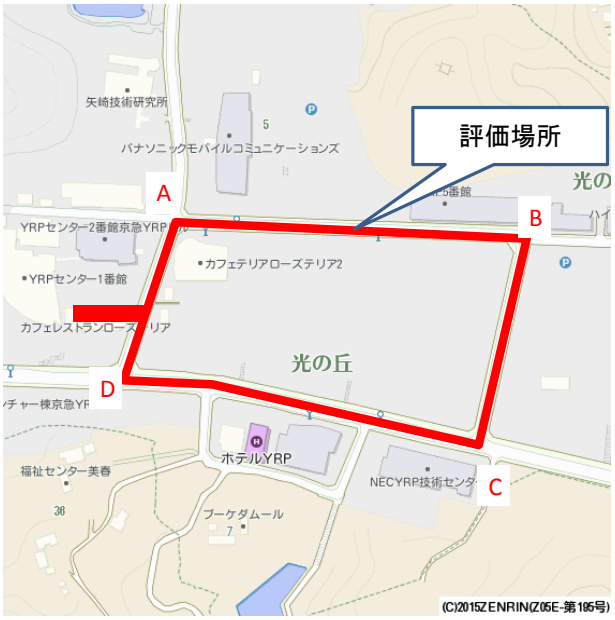


図 3.3-2 横須賀 YRP 評価場所

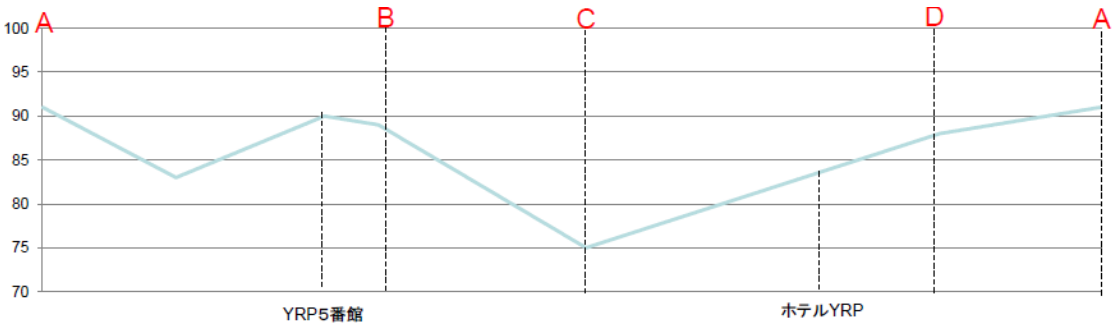


図 3.3-3 横須賀 YRP 高低差

図 3.3-4 車載器搭載車両

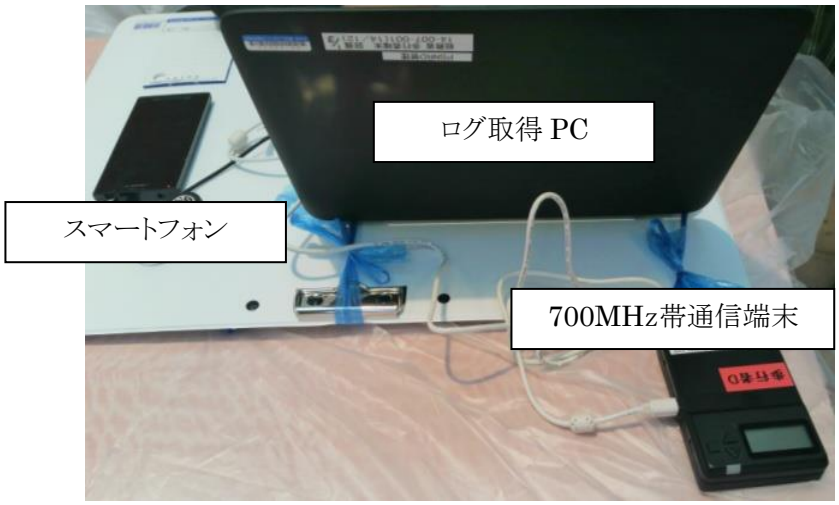


図 3.3-5 700MHz帯通信端末 評価セット

図 3.3-6 評価の様子

図 3.3-7 YRP 単独歩行評価

3.3.2. 評価結果

700MHz帯通信端末1台目（以下700MHz帯通信端末A）の車両IDは0xf7aff28d（十進数で 4155503245）、700MHz帯通信端末 2 台目(以下 700MHz帯通信端末 B)の車両 ID は 0xf7aff476（十進数で4155503734）、車載器の車両ID 0x84773054（十進数で2222403668）が設定されている。

まず700MHz 帯通信端末 A と B が送信し、車載器が受信したケースについて確認する。

この時の700MHz帯通信端末 A の送信データを表 3.3-1 に、700MHz帯通信端末 B の送信データを表 3.3-2 に、車載器の受信データを表 3.3-3 に示す。車載器が受信したデータを確認したところ、複数台の 700MHz帯通信端末を受信しており、各車両 ID のデータはインクリメントカウンタに欠落がなく、両端末のデータを 100[msec.]ごとに送信できていることを確認した。ログ出力の関係上、車載器の緯度・経度は小数点第6位を四捨五入しているため若干のズレは生じているが、生データでは正しく受信されていることを確認した。

表 3.3-1 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 A 送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff28d (4155503245)	0x44		1
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff28d (4155503245)	0x45		1
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff28d (4155503245)	0x46	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff28d (4155503245)	0x47	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x48	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x49	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x4a	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x4b	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x4c	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x4d	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x4e	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x4f	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x50	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff28d (4155503245)	0x51	352231785	1396746101
0x00000001	2015/01/15 10:40:47	0xf7aff28d (4155503245)	0x52	352231785	1396746101

カウンタが欠けることなく送信されている

表 3.3-2 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 B 送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x90		6
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x91		6
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x92	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:45	0xf7aff476 (4155503734)	0x93	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x94	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x95	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x96	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x97	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x98	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x99	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x9a	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x9b	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x9c	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:46	0xf7aff476 (4155503734)	0x9d	352229341	1396752866
0x00000001	2015/01/15 10:40:47	0xf7aff476 (4155503734)	0x9e	352229341	1396752866

カウンタが欠けることなく送信されている

表 3.3-3 複数台送受信評価 車載器 受信データ

歩行者端末 A の ID

歩行者端末 B の ID

カウンタが欠けることなく受信できている

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度
4155503245	68	0x44		
4155503734	144	0x90		
4155503245	69	0x45	35.22318	139.6746
4155503734	145	0x91	35.22293	139.6753
4155503245	70	0x46	35.22318	139.6746
4155503734	146	0x92	35.22293	139.6753
4155503245	71	0x47	35.22318	139.6746
4155503734	147	0x93	35.22293	139.6753
4155503245	72	0x48	35.22318	139.6746
4155503734	148	0x94	35.22293	139.6753
4155503245	73	0x49	35.22318	139.6746
4155503734	149	0x95	35.22293	139.6753
4155503245	74	0x4A	35.22318	139.6746
4155503734	150	0x96	35.22293	139.6753
4155503245	75	0x4B	35.22318	139.6746
4155503734	151	0x97	35.22293	139.6753
4155503245	76	0x4C	35.22318	139.6746
4155503734	152	0x98	35.22293	139.6753
4155503245	77	0x4D	35.22318	139.6746
4155503734	153	0x99	35.22293	139.6753
4155503245	78	0x4E	35.22318	139.6746
4155503734	154	0x9A	35.22293	139.6753
4155503245	79	0x4F	35.22318	139.6746
4155503734	155	0x9B	35.22293	139.6753
4155503245	80	0x50	35.22318	139.6746
4155503734	156	0x9C	35.22293	139.6753
4155503245	81	0x51	35.22318	139.6746
4155503734	157	0x9D	35.22293	139.6753
4155503245	82	0x52	35.22318	139.6746
4155503734	158	0x9E	35.22293	139.6753

次に、車載器が送信し、700MHz 帯通信端末 A と B が受信したケースについて確認する。

車載器送信データを表 3.3-4 に、700MHz帯通信端末 A の受信データを表 3.3-5 に、700MHz帯通信端末 B の受信データを表 3.3-6 に示す。それぞれの 700MHz 帯通信端末が受信したデータを確認したところ、車載器の ID が含まれているデータはインクリメントカウンタに欠落がなく、両端末は 100[msec.]ごとに受信できていることを確認した。こちらもログ出力の関係上、車載器の緯度・経度は小数点第6位を四捨五入しているため若干のズレは生じているが、生データの値と合致していることを確認した。

表 3.3-4 複数台送受信評価 車載器 送信データ

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度
2222403668	95	0x5F		
2222403668	96	0x60		
2222403668	97	0x61	35.2234	139.676
2222403668	98	0x62	35.2234	139.676
2222403668	99	0x63	35.2234	139.676
2222403668	100	0x64	35.2234	139.676
2222403668	101	0x65	35.2234	139.676
2222403668	102	0x66	35.2234	139.676
2222403668	103	0x67	35.2234	139.676
2222403668	104	0x68	35.2234	139.676
2222403668	105	0x69	35.2234	139.676
2222403668	106	0x6A	35.2234	139.676
2222403668	107	0x6B	35.2234	139.676
2222403668	108	0x6C	35.2234	139.676
2222403668	109	0x6D	35.2234	139.676

カウンタが欠けることなく送信されている

表 3.3-5 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 A 受信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000002	2015/01/15 10:40:45	0x84773054 (2222403668)	0x5f		517
0x00000002	2015/01/15 10:40	0x84773054 (2222403668)	0x60		517
0x00000002	2015/	0x84773054 (2222403668)	0x61		517
0x00000002	2015/01/15 10:40:45	0x84773054 (2222403668)	0x62	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x63	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x64	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x65	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x66	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x67	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x68	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x69	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x6a	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x6b	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x6c	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:47	0x84773054 (2222403668)	0x6d	352233950	1396759517

車載器の ID

カウンタが欠けること
なく受信できている

表 3.3-6 複数台送受信評価 700MHz帯通信端末 B 受信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度
0x00000002	2015/01/15 10:40:45	0x84773054 (2222403668)	0x5f		517
0x00000002	2015/01/15 10:40	0x84773054 (2222403668)	0x60		517
0x00000002	2015	0x84773054 (2222403668)	0x61		517
0x00000002	2015/01/15 10:40:45	0x84773054 (2222403668)	0x62	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x63	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x64	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x65	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x66	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x67	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x68	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x69	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x6a	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x6b	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:46	0x84773054 (2222403668)	0x6c	352233950	1396759517
0x00000002	2015/01/15 10:40:47	0x84773054 (2222403668)	0x6d	352233950	1396759517

車載器の ID

カウンタが欠けること
なく受信できている

次に単独歩行で、車両の周辺を歩行し、相互の送受信状態を確認した。「車載器情報受信」はインクリメントカウンタにほぼ抜けなく受信ができている箇所、「一部欠落」は１秒以上情報が欠けている箇所、「受信不可」は全く送受信ができていなかった箇所として、計測結果を図 3.3-8 に示す。「一部欠落」と「受信不可」の周囲は看板や木が茂っており、車載器停車位置方向に高い土塁が存在している。おそらくこれらの影響により 700MHz帯通信端末との通信ができていなかったものと推察される。

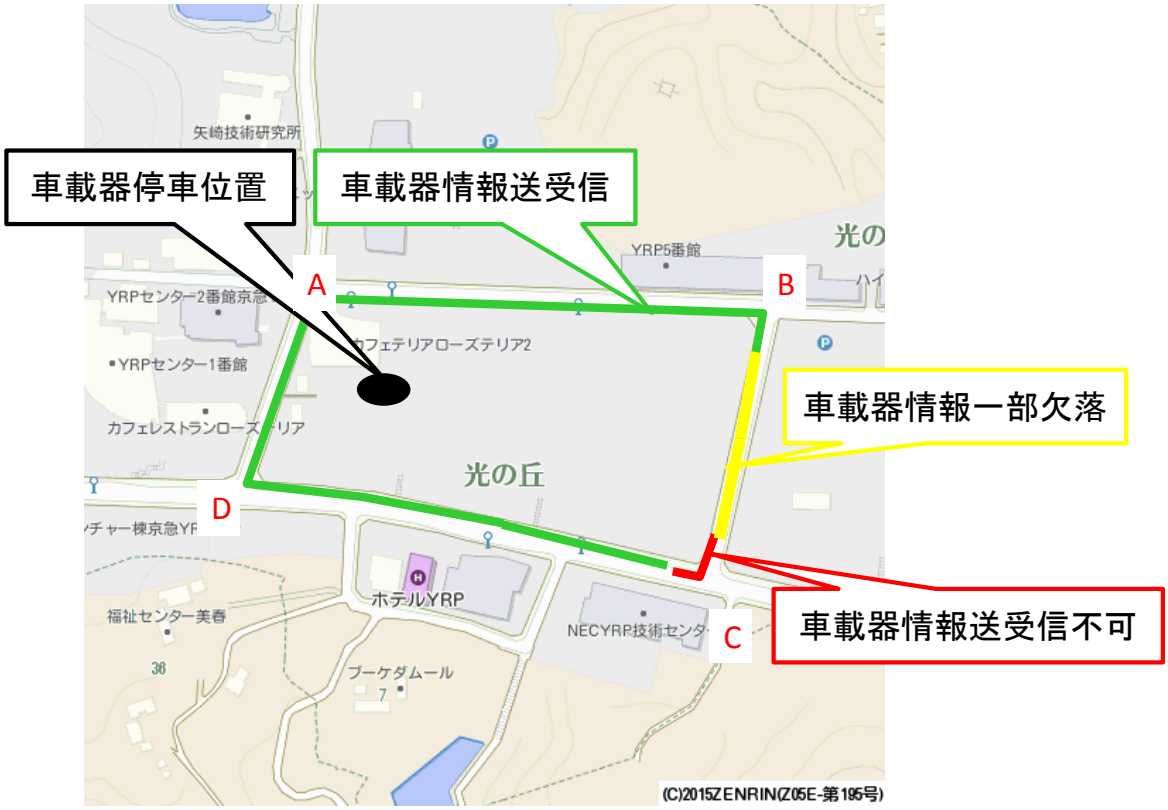


図 3.3-8 YRP 単独歩行 受信状態

3.4. 高低差送受信評価

本章は、提案書(1)エ)**実環境における実証実験および課題の抽出** の本年度目標に記されている「既存の 700MHz 帯通信端末試作機の 700MHz 帯通信のメッセージセットを ITS FORUM RC-013 1.0 版対応とアップデートされたものを、平成 26 年度中に SIP にて行われる車車間通信・路車間通信の実証実験へ 700MHz 帯通信端末実験として参加し、通信互換性を確認する」部分に対応する。特に、道路や高架など高さが異なるところにある車両や700MHz帯通信端末が存在するときの振る舞いについて、出力されたログの内容から判断した(ログの出力方法に関しては 3.1.1 章を参照)。この実験を元に、平面上重なるが車両と歩行者の存在する高さが異なるケースでの誤判定を防ぐ方法について検討を行う。

この評価では歩行者を歩道橋上に立たせ、車載器を載せた車両が付近を通過した際に700MHz帯通信端末のデータを正しく送受信されているか確認を行った。700MHz帯通信端末は車載器の ID と位置情報を、車載器は 700MHz帯通信端末の ID と位置情報を高さに関係なく送受信ができていることを確認した。しかし、GPS と準天頂衛星の異なる測定方式による高度を正しく比較できないケースも有ることから、高度情報によらない誤判定の防止方法を検討する必要があると判断した。

3.4.1. 評価環境

車載器を対向機とした評価環境を図 3.4-1 に示す。

高低差送受信評価は名古屋市内で実証実験を行った。実証実験の実施箇所について周辺地図を図 3.4-2 に示す。また、車載器が搭載されている車両を図 3.4-3 に、試験の様子を図 3.4-4 に示す。3.3 章の試験同様に 700MHz帯通信端末は首から下げて評価を行った。なお、実証実験当日の環境については以下のとおり。

日時 ：2015 年 2 月 19 日 10:00 – 13:00
場所 ： 名古屋市内 大津通(城見通2丁目交差点手前 歩道橋)
天気 ： 晴れ

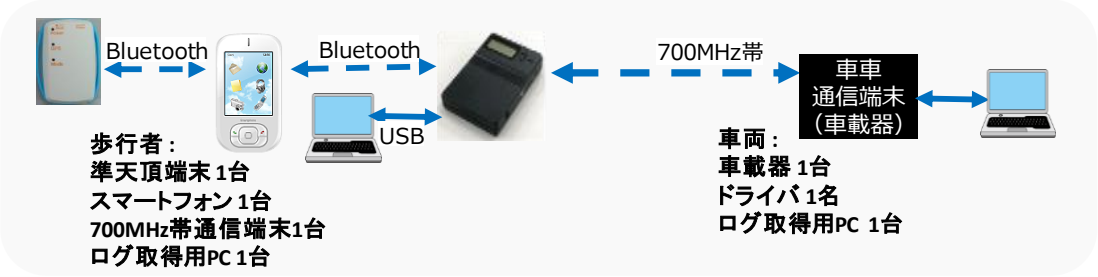


図 3.4-1 高低差送受信評価 評価環境

図 3.4-2 名古屋市内 評価場所

図 3.4-3 車載器搭載車両

図 3.4-4 評価の様子

3.4.2. 評価結果

700MHz帯通信端末の車両 ID は 0xf7aff2cf（十進数で 4155503311）、車載器の車両 ID 0x0273f6dc（十進数で 41154268）が設定されている。

まず 700MHz 帯通信端末が送信し、車載器が受信したケースについて確認する。

この時の 700MHz帯通信端末の送信データを表 3.4-1 に、車載器の受信データを表 3.4-2 に示す。3.3.2 章と同様に車載器が受信したデータを確認したところ、700MHz帯通信端末の ID が合致しており、インクリメントカウンタに欠落がなく、緯度・経度の値も合致していることから、高低差によらず 100[msec.]ごとに送信ができていることを確認した。

表 3.4-1 高低差送受信評価 700MHz帯通信端末 送信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度	高度
0x00000001	2015/02/19 10:23:05	0xf7aff2cf (4155503311)	0x19	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:05	0xf7aff2cf (4155503311)	0x1a	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x1b	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x1c	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x1d	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x1e	35.19	0331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x1f	35.19	0331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x20	35.1956633	0331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x21	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x22	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x23	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:06	0xf7aff2cf (4155503311)	0x24	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x25	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x26	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x27	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x28	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x29	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x2a	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x2b	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x2c	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x2d	35.1956633	136.90331	13
0x00000001	2015/02/19 10:23:07	0xf7aff2cf (4155503311)	0x2e	35.1956633	136.90331	12.9

カウンタが欠けることなく送信されている

高度が車より低い

表 3.4-2 高低差送受信評価 車載器 受信データ

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度	高度
4155503311	0x19	25	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x1a	26	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x1b	27	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x1c	28	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x1d	29	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x1e	30	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x1f	31	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x20	32	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x21	33	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x22	34	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x23	35	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x24	36	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x25	37	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x26	38	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x27	39	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x28	40	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x29	41	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x2a	42	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x2b	43	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x2c	44	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x2d	45	35.1956633	136.90331	13
4155503311	0x2e	46	35.1956633	136.90331	12.9

ID が合致し、カウンタが欠けることなく受信できている

次に車載器が送信し、700MHz 帯通信端末が受信したケースについて確認する。

この時の車載器の送信データを表 3.4-3 に、700MHz帯通信端末の受信データを表 3.4-4 に示す。3.3.2 章と同様に 700MHz帯通信端末が受信したデータを確認したところ、車載器の車両 ID が合致し、インクリメントカウンタに欠落がなく、緯度・経度の値も合致していることから、700MHz 帯通信端末も高低差によらず 100[msec.]ごとに受信ができていることを確認した。

表 3.4-3 高低差送受信評価 車載器 送信データ

車両ID	インクリメントカウンタ		緯度	経度	高度
41154268	0xA9	169	35.1957628	136.903287	15
41154268	0xAA	170	35.1957628	136.903287	15
41154268	0xAB	171			15
41154268	0xAC	172			15
41154268	0xAD	173			15
41154268	0xAE	174			15
41154268	0xAF	175	35.1956901	136.903287	15
41154268	0xB0	176	35.1956771	136.903287	15
41154268	0xB1	177	35.1956618	136.903287	15
41154268	0xB2	178	35.1956493	136.903287	15
41154268	0xB3	179	35.1956368	136.903287	15
41154268	0xB4	180	35.1956201	136.903287	15
41154268	0xB5	181	35.1956071	136.903287	15
41154268	0xB6	182	35.1955941	136.903287	15
41154268	0xB7	183	35.1955893	136.903287	15
41154268	0xB8	184	35.1955768	136.903287	15
41154268	0xB9	185	35.1955495	136.903287	15
41154268	0xBA	186	35.1955365	136.903287	15
41154268	0xBB	187	35.1955292	136.903287	15
41154268	0xBC	188	35.1955167	136.903287	15
41154268	0xBD	189	35.1955042	136.903287	15
41154268	0xBE	190	35.1954881	136.903287	15

カウンタが欠けることなく送信されている

高度が歩行者よりも高い(実際は歩行者のほうが高い)

表 3.4-4 高低差送受信評価 700MHz帯通信端末 受信データ

ログ種別	日時	ID	カウンタ	緯度	経度	高度
0x00000002	2015/02/19 10:23:05	0x0273f6dc (41154268)	0xA9	35.1957628	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:05	0x0273f6dc (41154268)	0xAA	35.1957628	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xAB	35.1957498	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xAC	35.1957256	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xAD	35.1957131	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xAE	35.1957006	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xAF	35.1956901	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xB0	35.1956771	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xB1	35.1956618	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xB2	35.1956493	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xB3	35.1956368	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:06	0x0273f6dc (41154268)	0xB4	35.1956201	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xB5	35.1956071	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xB6	35.1955941	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xB7	35.1955893	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xB8	35.1955768	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xB9	35.1955495	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xBA	35.1955365	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xBB	35.1955292	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xBC	35.1955167	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xBD	35.1955042	136.9032868	15
0x00000002	2015/02/19 10:23:07	0x0273f6dc (41154268)	0xBE	35.1954881	136.9032868	15

ID が合致し、カウンタが欠けることなく受信できている

これらの結果より車載器と 700MHz 帯通信端末の送受信範囲を示した地図を図 3.4-5 に示す。車載器の受信範囲は広く、実証実験のエリアである城見通2～城北橋交差点間ではほぼデータが受信出来ていることを確認した。

図 3.4-5 車載器受信範囲

表 3.4-1～表 3.4-4 によると、車載器のほうが高く（15m。700MHz帯通信端末は 13m と送信）、実際の位置関係と異なっている。車載器が通過した前後 90 秒間の 700MHz帯通信端末が送信した位置情報を表 3.4-5 に示す。歩行者はほぼ停止している状態で、3 分間に約 13m 高度が変動している。

同じ測定方法（例：歩行者端末システム・車載器ともに GPS を利用）の場合は同じ衛星を使う可能性が高いため高度差が正確に現れると考えられる。しかし、異なる測定方法（歩行者端末システム：準天頂衛星、車載器：GPS）ではこのように正しく比較できないケースが有る。このことから、現在のように測定方法が異なる状態で高度情報を比較することは難しく、誤判定を防ぐ方法として高度情報以外の方法でののでのフィルタリングも検討する必要がある。

表 3.4-5 準天頂衛星 位置情報

日時	緯度	経度	高度
2015/02/19 10:21:30	35.19567	136.903275	15.9
2015/02/19 10:22:00	35.195665	136.9032816	26.5
2015/02/19 10:22:30	35.19565	136.9032849	16.4
2015/02/19 10:23:00	35.1956633	136.90331	13.4
2015/02/19 10:23:30	35.1956583	136.9033066	16.7
2015/02/19 10:24:00	35.19565	136.9032983	19.3
2015/02/19 10:24:30	35.1956466	136.9033	19.7

3.5. BLE 無線評価

3.5.1. BLE Module 評価

BLE Module は、Module メーカとして市場実績がある A 社と B 社を候補とした。更に、Bluetooth 用デバイス(LSI)ではあるが、車載器に搭載した市場実績がある C 社デバイスと D 社デバイスが本選定した A 社と B 社の BLE Module に実装されている。Module 及び車載器搭載デバイス等の市場実績を基に 700MHz 帯通信端末への干渉を検証する BLE Module メーカを A 社と B 社に決定した。代表に A 社のデータシート(参考文献[3])に記載されている無線特性を表 3.5-1 に示す。

表 3.5-1 A 社 BLE Module 無線特性

Electrical Characteristics				
Normal Condition: +25deg.C (otherwise notified)				
Item/Condition	Spec			Unit
	MIN	TYP	MAX	
Center frequency	2402	–	2480	MHz
Channel Spacing	–	2	–	MHz
Number of RF Channels	–	40	–	–
Output power (Measured at antenna connector)	–	−2	–	dBm
Modulation characteristics				
1) Δ f1avg	225	–	275	kHz
2) Δ f2max (at 99.9%)	185	–	–	kHz
3) Δ f2avg / Δ f1avg	0.8	–	–	–
Carrier frequency offset and drift				
1) Frequency offset: | fn − fTX |	–	–	150	kHz
2) Frequency drift: | f0 − fn |	–	–	50	kHz
3) Drift rate #0: | f1 − f0 |	–	–	20	kHz
4) Drift rate #n: | fn − fn−5 |	–	–	20	kHz
Receiver sensitivity (PER < 30.8%)	–	–	−70	dBm
Maximum input signal level (PER < 30.8%)	−10	–	–	dBm
PER Report Integrity (−30dBm input)	50	–	65.4	%
Current consumption (Active Mode TX, Low MCU activity)	–	18	–	mA

BLE を 700MHz 帯通信端末に搭載した際の干渉(無線特性:送信及び受信特性)に関して検討するが本検討に先立ち、両社の BLE Module 単体の無線特性及び電流を評価した。その結果を以下に示す。

3.5.2. BLE Module 評価環境

BLE Module 単体の無線評価ブロック図を図 3.5-1 に、実際の評価環境（A 社 BLE Module）を図 3.5-2 にまた、各 Module の改造図を図 3.5-3 に示す。シールドルーム内に於いて BLUETOOTH TESTER：R&S 製 CBT とその背面の RS-232C の TX&RX&GND 端子を Level 変換治具でレベル変換後 Module と接続し、TESTER 対向にて無線特性を評価する。

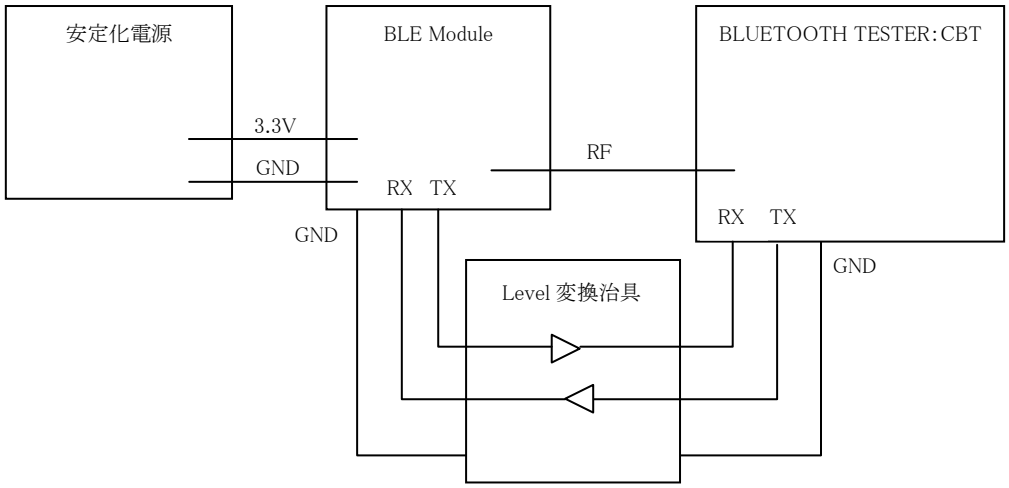


図 3.5-1 評価ブロック図

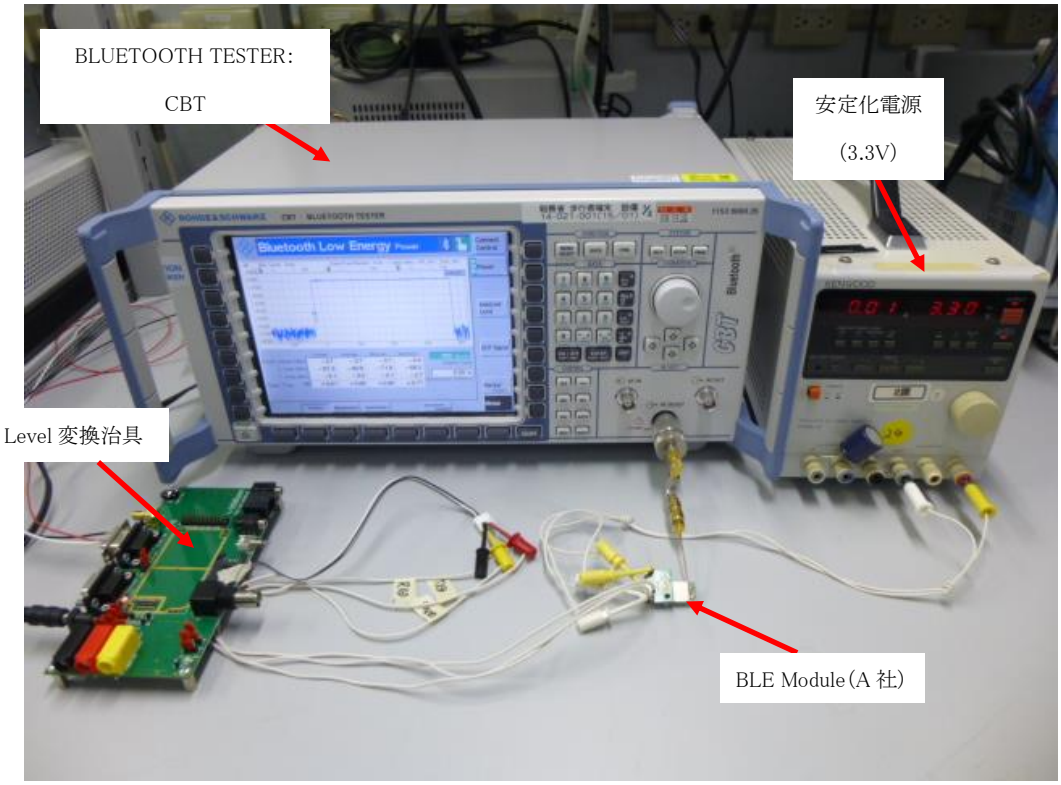
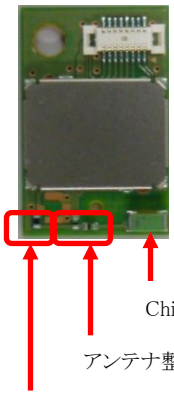


図 3.5-2 評価環境

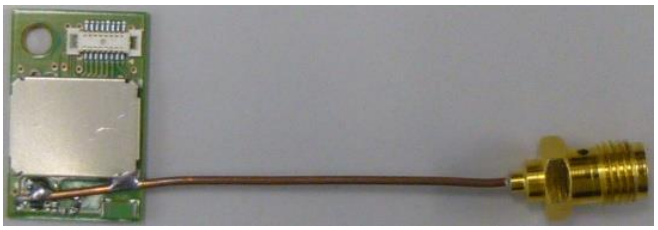
■A 社 BLE Module 改造



Chip アンテナ

アンテナ整合回路

Chip アンテナ接続用 0Ω

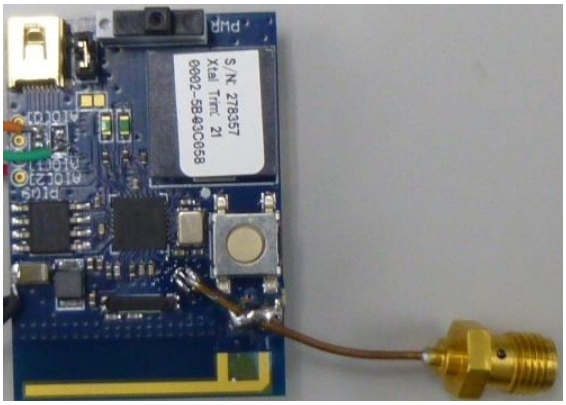


Chip アンテナ接続用 0Ω を削除し、Module 出力端にセミリジットを実装

■B 社 BLE Module 改造

アンテナ接続用 0nH

逆 F アンテナ



逆 F アンテナ 接続用 0nH を削除し、Module 出力端にセミリジットを実装

図 3.5-3 A 社及び B 社 Module 改造図

3.5.3. BLE Module 無線特性

以下に BLUETOOTH TESTER 対向による無線特性評価結果一覧の A 社 BLE Module を表 3.5-2 に、B 社 BLE Module を表 3.5-3 に示す。

A 社及び B 社 BLE Module 共に TESTER 対向による無線特性を評価した結果、主要項目は上記のような値となっており、両社共にほぼ同等の無線性能となっている事を確認した。また、代表値に TESTER の実測(A 社 0ch 設定時)結果を図 3.5-4～図 3.5-9 に示す。

表 3.5-2 A 社 BLE Module 無線特性評価結果一覧

					規格		2402MHz	2442MHz	2480MHz	
	測定項目			単位	Min	Max	0ch	20ch	39ch	判定
〈TX〉	TP/TRM_LE/CA/BV_01_C	Output Power	Average Power	dBm	-20	+10	-3.3	-4.0	-4.7	OK
			Max Power				-3.3	-3.9	-4.7	OK
			Min Power				-3.4	-4.0	-4.7	OK
			$P_{PK} \leqq (P_{AVG}+3dB)$	dB	-	3	0.66	0.60	0.59	OK
	TP/TRM_LE/CA/BV_05_C	Modulation Characteristics Freq deviation	Min	kHz	225	275	241.8	244.4	245.1	OK
			average				246.7	247.5	247.7	OK
			Max				251.5	250.4	250.7	OK
			Bits above threshold	kHz	185	-	259.7	256.9	257.0	OK
			f1/f2 Ratio	-	0.8	-	1.02	1.01	1.01	OK
	TP/TRM_LE/CA/BV_06_C	Carrier frequency offset and drift	Freq Accuracy	kHz	-	+150	+9.6	+8.8	+8.7	OK
					-150	-	-9.3	-8.6	-8.4	OK
			Freq Offset	kHz	-	+150	+9.6	-3.5	-3.9	OK
					-150	-	-9.0	-10.2	-9.8	OK
			Freq Drift	kHz	-	50	13.9	11.1	12.2	OK
			Maximum drift rate	kHz/50us	-	20	14.7	13.9	12.5	OK
			Initial frequency drift	kHz	-	20	11.8	8.5	8.6	OK
〈RX〉	TP/RCV_LE/CA/BV_01_C	Receiver sensitivity	Pin=-70dBm	%	-	30.8	0.0	0.0	0.0	OK
	TP/RCV_LE/CA/BV_06_C	Max Input signal	Pin=-10dBm	%		30.8	0.0	0.0	0.0	OK
	TP/RCV_LE/CA/BV_07_C	PER Report Integrity	Pin=-30dBm	%	50	65.4	50.0	50.0	50.0	OK

表 3.5-3 B 社 BLE Module 無線特性評価結果一覧

					規格		2402MHz	2442MHz	2480MHz	
	測定項目			単位	Min	Max	0ch	20ch	39ch	判定
〈TX〉	TP/TRM_LE/CA/BV_01_C	Output Power	Average Power	dBm	-20	+10	-3.9	-2.2	-0.7	OK
			Max Power				-3.9	-2.2	-0.7	OK
			Min Power				-3.9	-2.3	-0.8	OK
			$P_{PK} \leqq (P_{AVG}+3dB)$	dB	-	3	0.7	0.7	0.6	OK
	TP/TRM_LE/CA/BV_05_C	Modulation Characteristics Freq deviation	Min	kHz	225	275	251.7	249.3	254.0	OK
			average				252.7	250.0	254.9	OK
			Max				253.6	251.1	256.0	OK
			Bits above threshold	kHz	185	-	236.7	237.0	236.4	OK
			f1/f2 Ratio	-	0.8	-	0.93	0.95	0.92	OK
	TP/TRM_LE/CA/BV_06_C	Carrier frequency offset and drift	Freq Accuracy	kHz	-	+150	+4.8	-7.1	-6.4	OK
					-150	-	-16.1	-16.1	-17.8	OK
			Freq Offset	kHz	-	+150	-12.4	-13.2	-13.0	OK
					-150	-	-16.5	-16.7	-17.3	OK
			Freq Drift	kHz	-	50	7.7	7.6	9.3	OK
			Maximum drift rate	kHz/50us	-	20	8.2	8.2	8.3	OK
			Initial frequency drift	kHz	-	20	4.0	3.9	7.5	OK
〈RX〉	TP/RCV_LE/CA/BV_01_C	Receiver sensitivity	Pin=-70dBm	%	-	30.8	0.0	0.0	0.0	OK
	TP/RCV_LE/CA/BV_06_C	Max Input signal	Pin=-10dBm	%		30.8	0.0	0.0	0.0	OK
	TP/RCV_LE/CA/BV_07_C	PER Report Integrity	Pin=-30dBm	%	50	65.4	50.0	50.0	50.0	OK

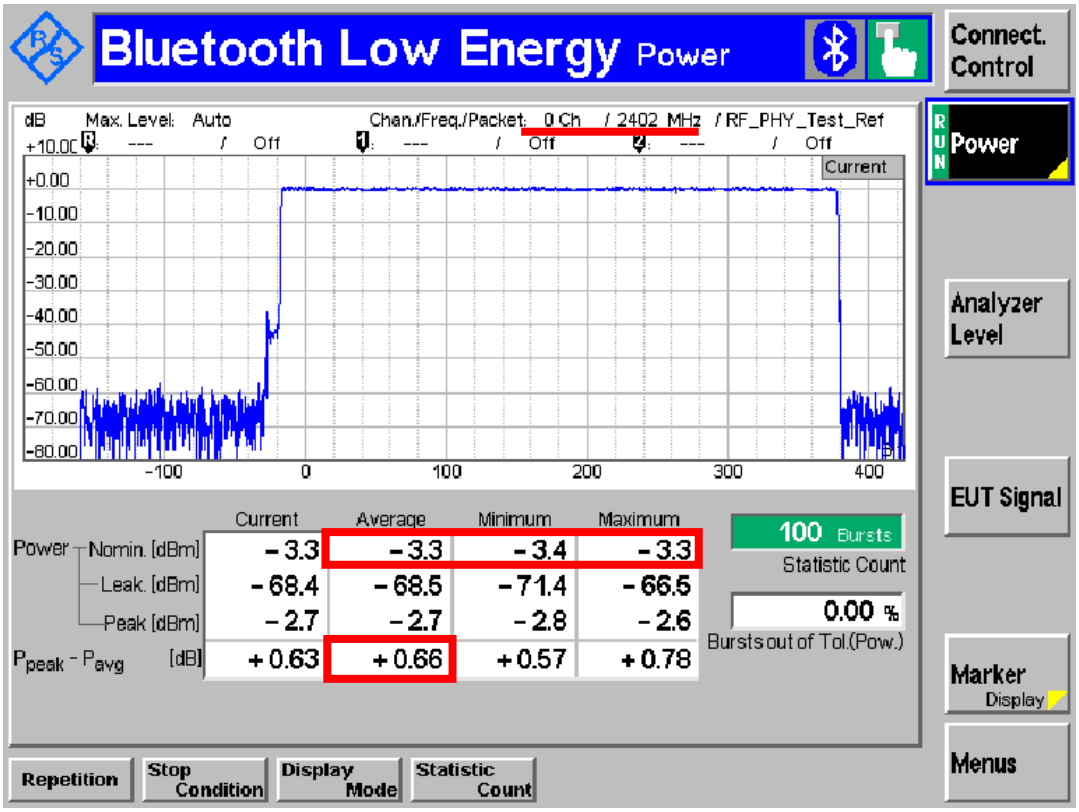


図 3.5-4 TP/TRM_LE/CA/BV_01_C

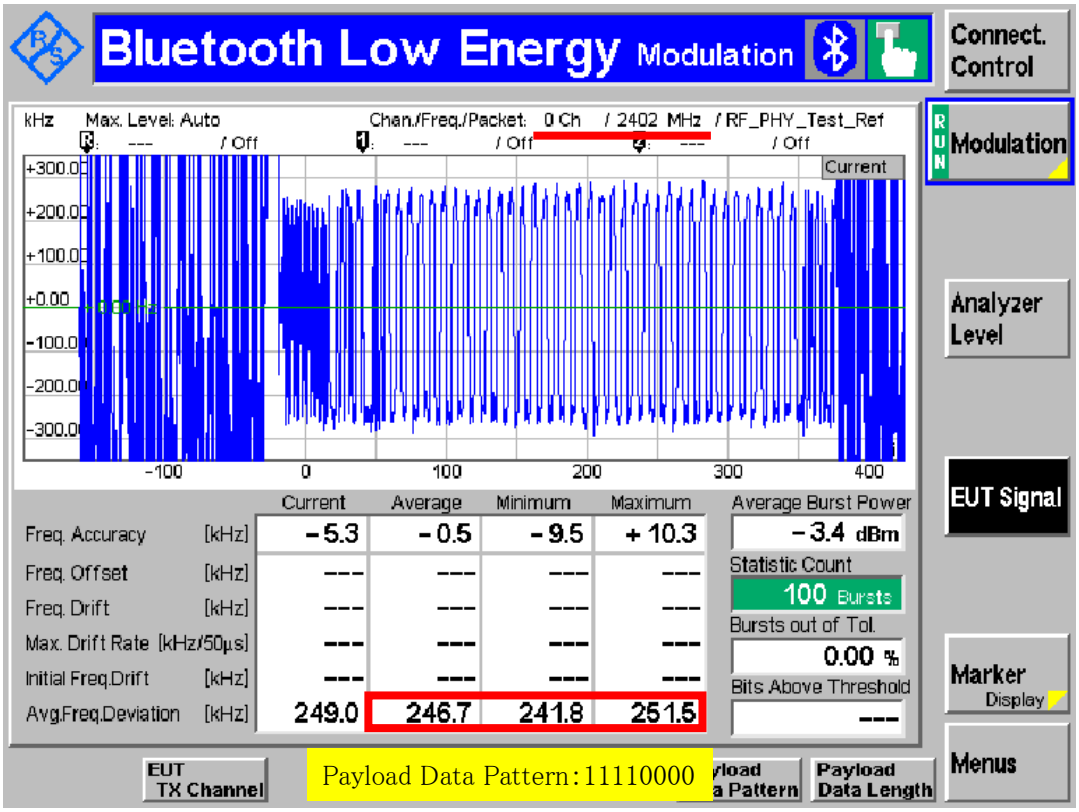


図 3.5-5 TP/TRM_LE/CA/BV_05&06_C

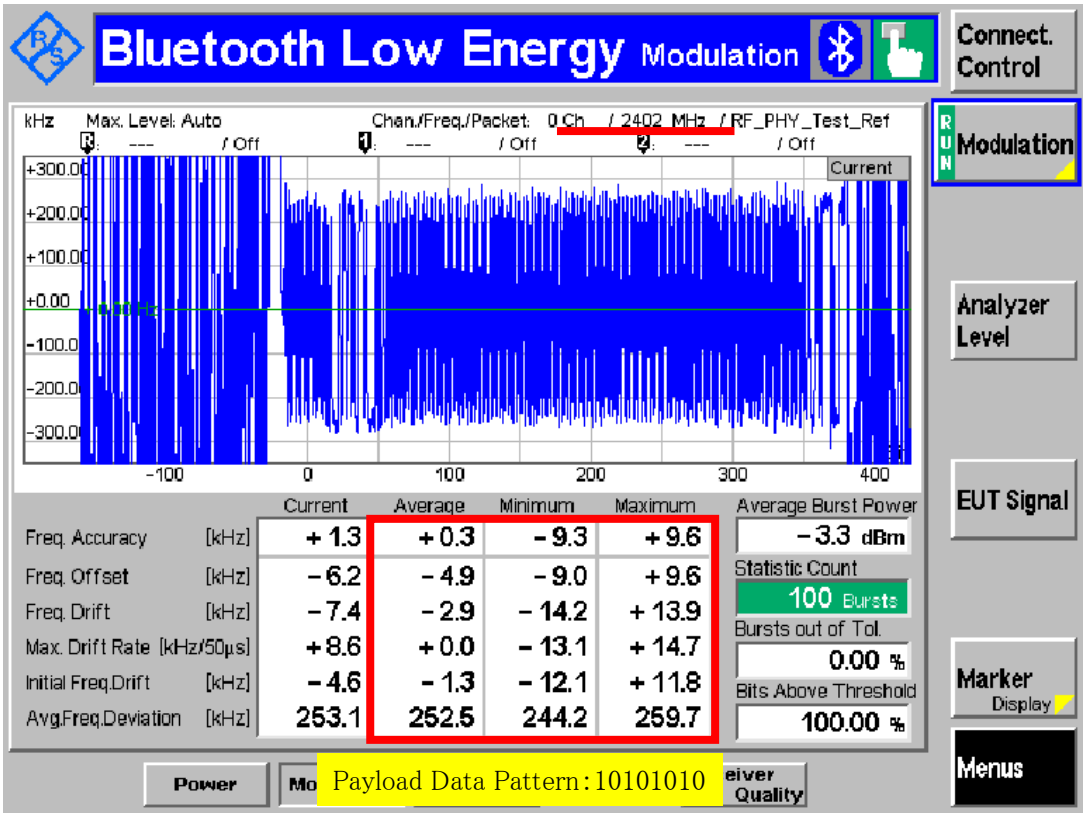


図 3.5-6 TP/TRM_LE/CA/BV_05&06_C

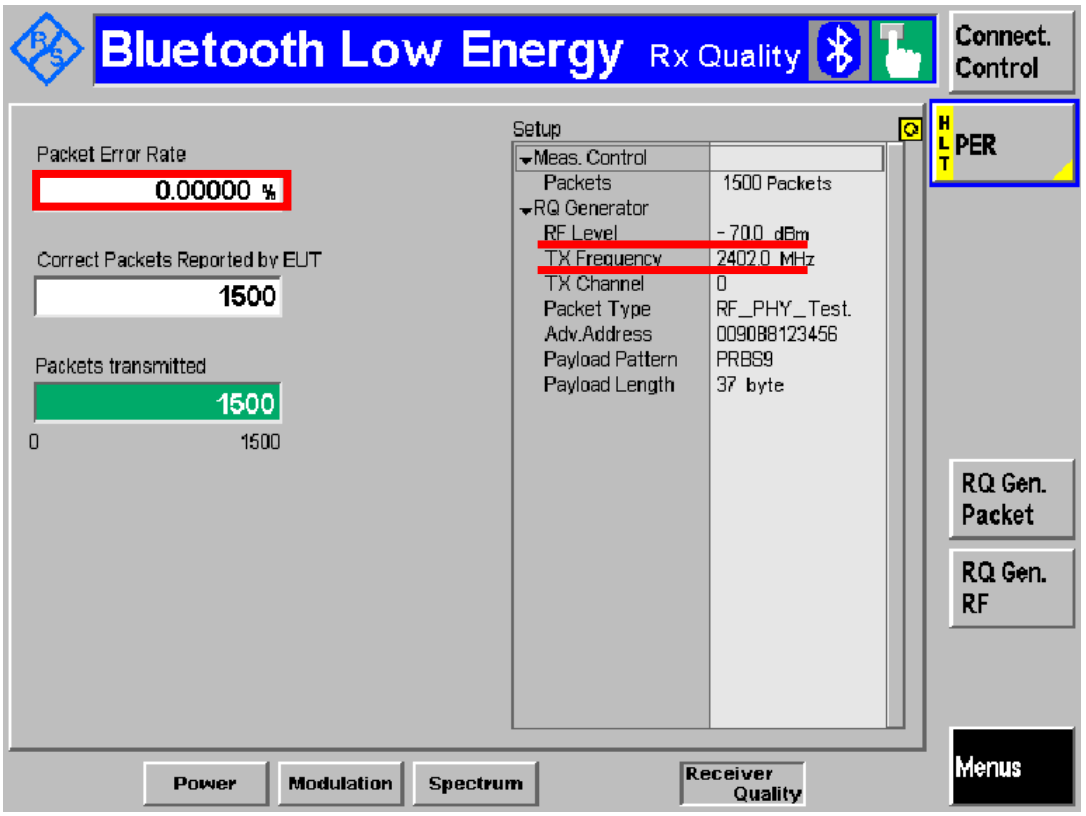


図 3.5-7 TP/RCV_LE/CA/BV_01_C

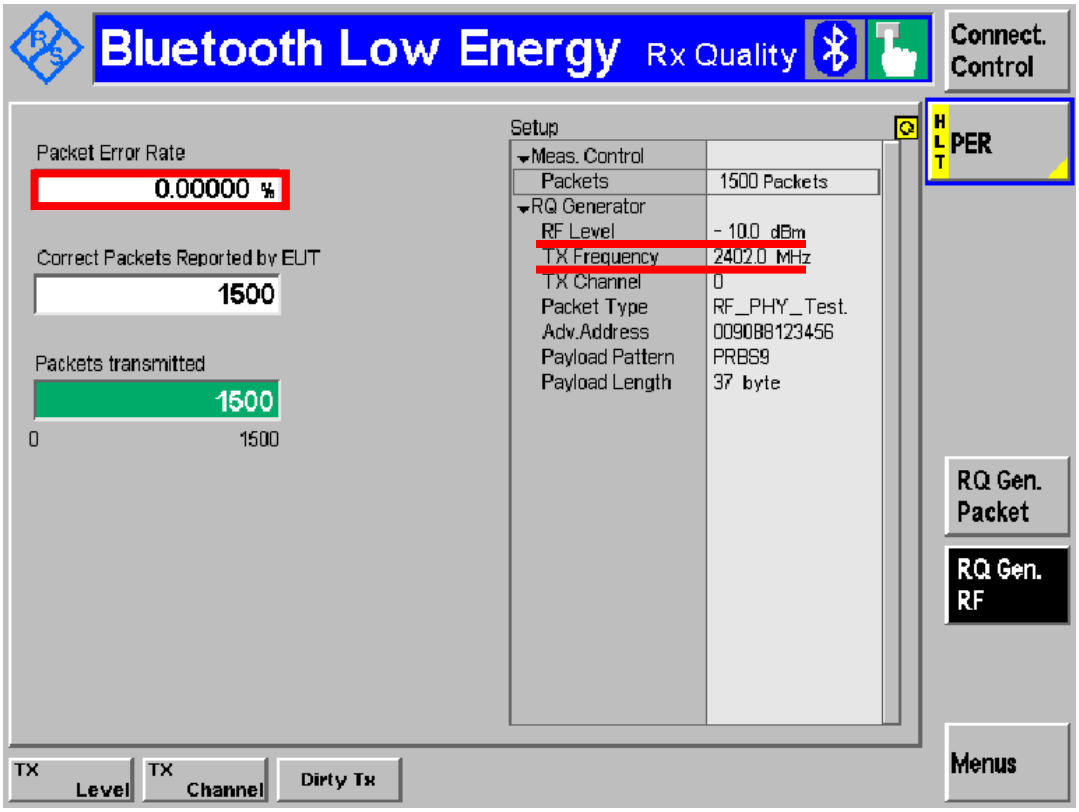


図 3.5-8 TP/RCV_LE/CA/BV_06_C

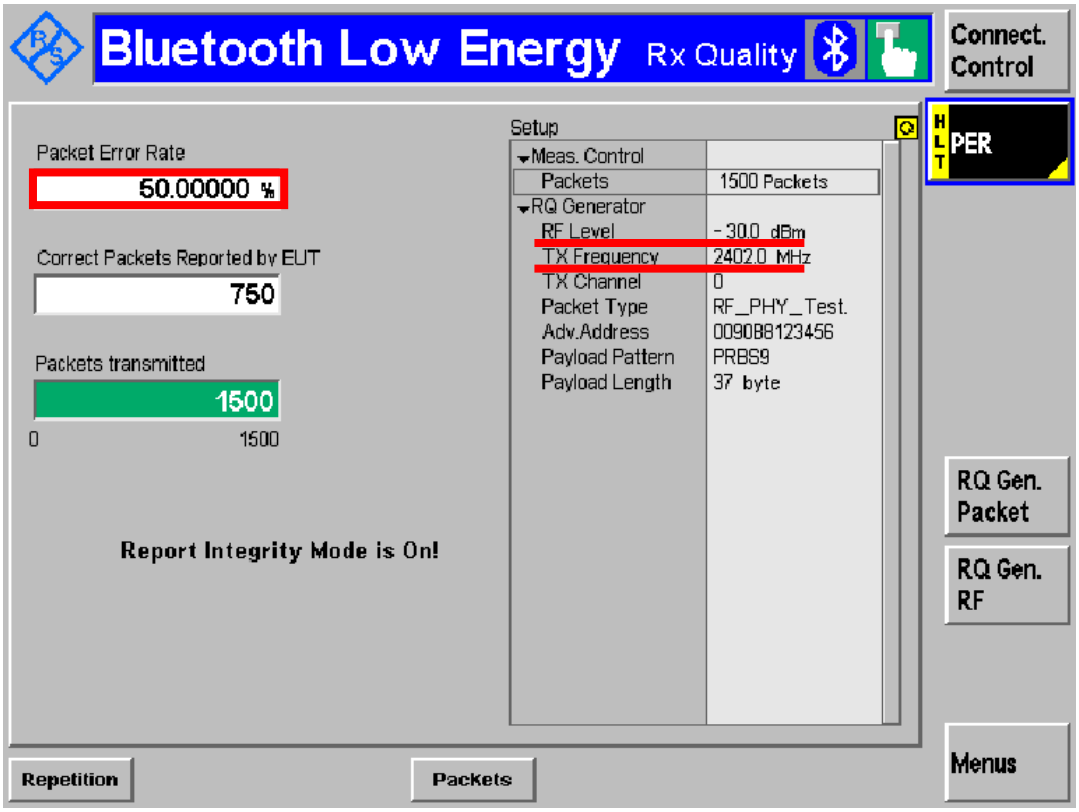


図 3.5-9 TP/RCV_LE/CA/BV_07_C

3.5.4. BLE Module Minimum Input Sensitivity

BLE Module の Minimum Input Sensitivity 特性の A 社を図 3.5-10 にまた、B 社を図 3.5-11 に示す。

Minimum Input Sensitivity は、A 社が約-83dBm、B 社が約-90.5dBm となっており、両社共に BLE 規格値である-70dBm 以下（@≦30.8%）を十分満足している事を確認した。

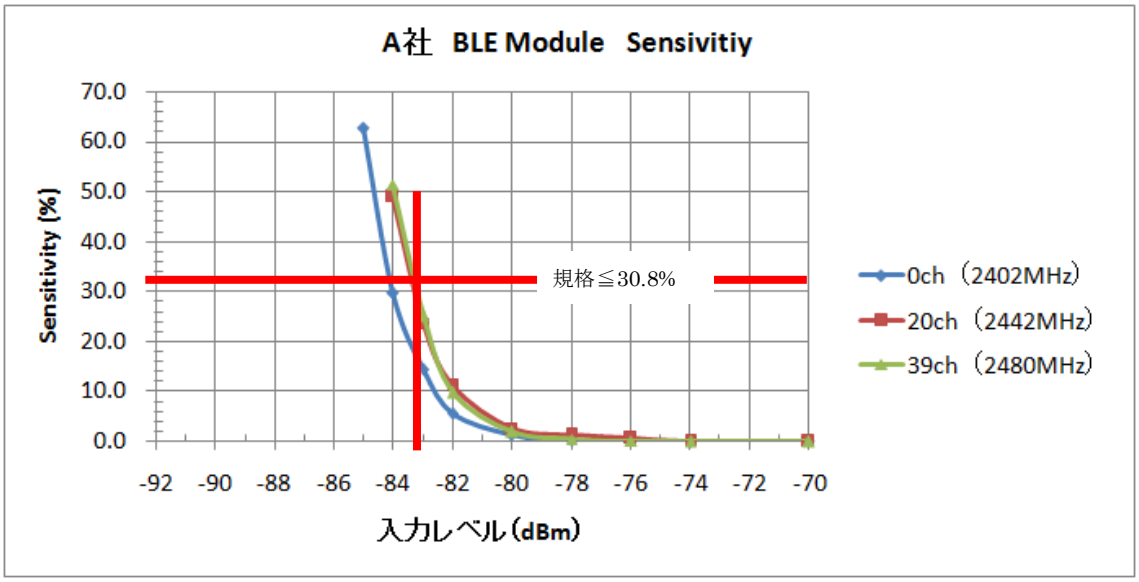


図 3.5-10 A 社 Minimum Input Sensitivity 特性

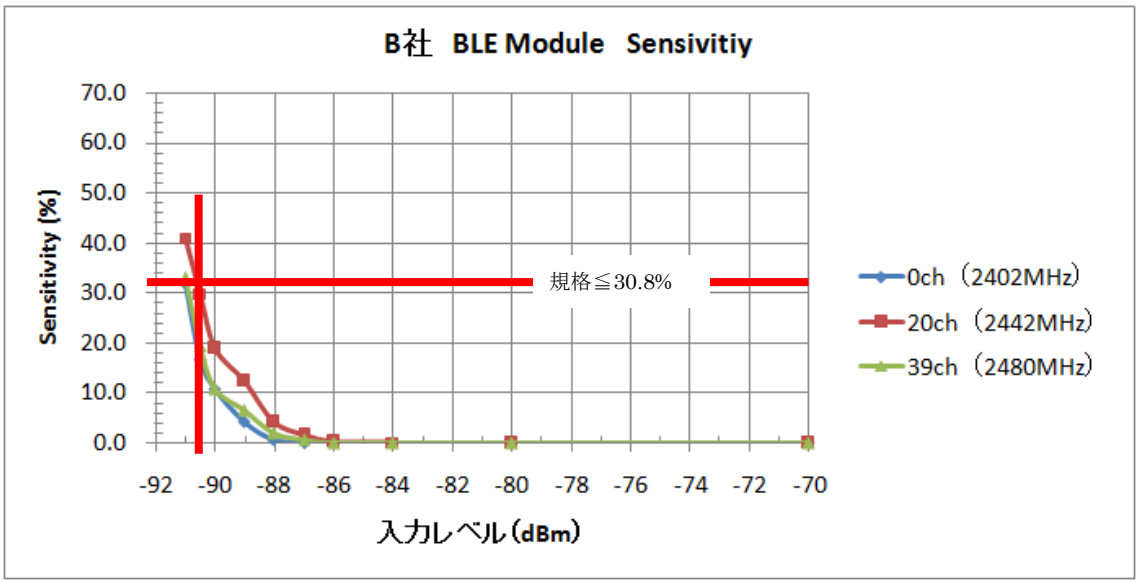


図 3.5-11 B 社 Minimum Input Sensitivity 特性

3.5.5. BLE Module 電流波形

BLE Module の電流を Current probe にて波形を取得し、Peak 電流を測定した。評価環境を図 3.5-12 に、BLE Module の電源(3.3V)に流れる電流波形 A 社を図 3.5-13 にまた、B 社を図 3.5-14 に示す。

電流値としては送信時の平均電流で 5.8mA、受信時の Peak 電流で 3mA 程度 B 社 BLE Module が小さい。また、Module ベースでは A 社に関しては電源投入により Module 内の LSI が動作し、8mA 程度の Idle 電流が流れている。

以上、事前データとして A 社及び B 社 BLE Module の無線特性と共に感度の実力値更には消費電流を確認した。両社共に BLE の基本性能を十分満足している事が確認出来た。

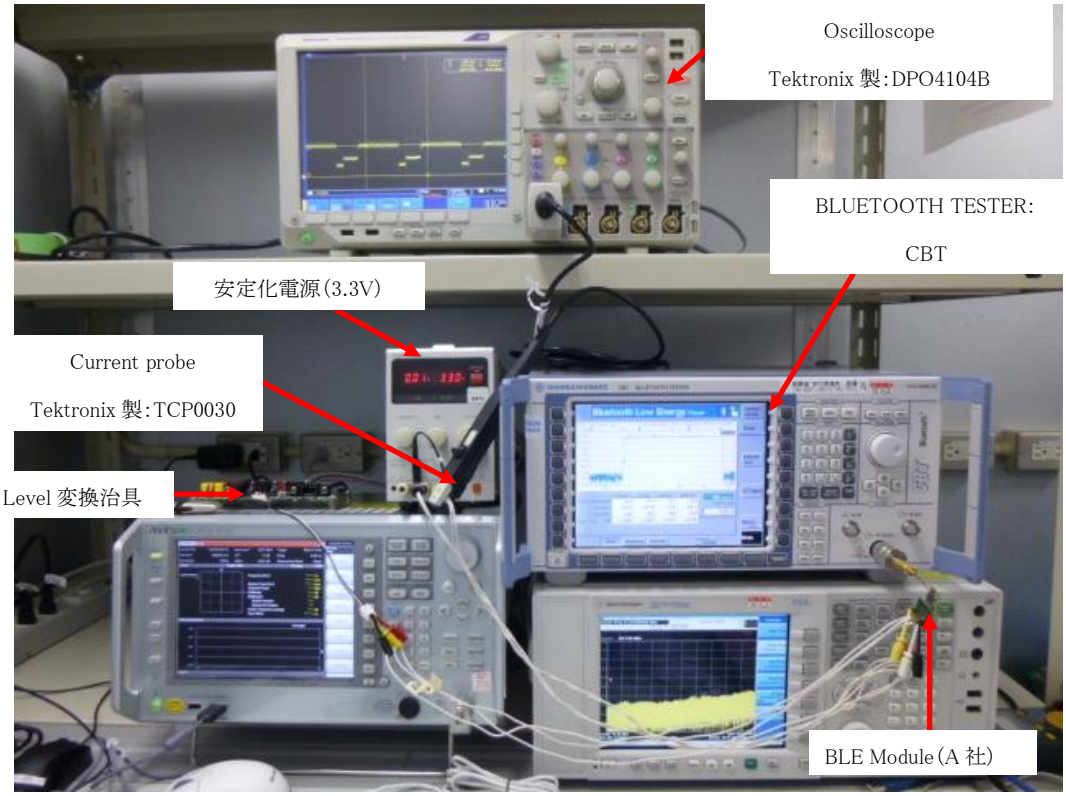


図 3.5-12 評価環境

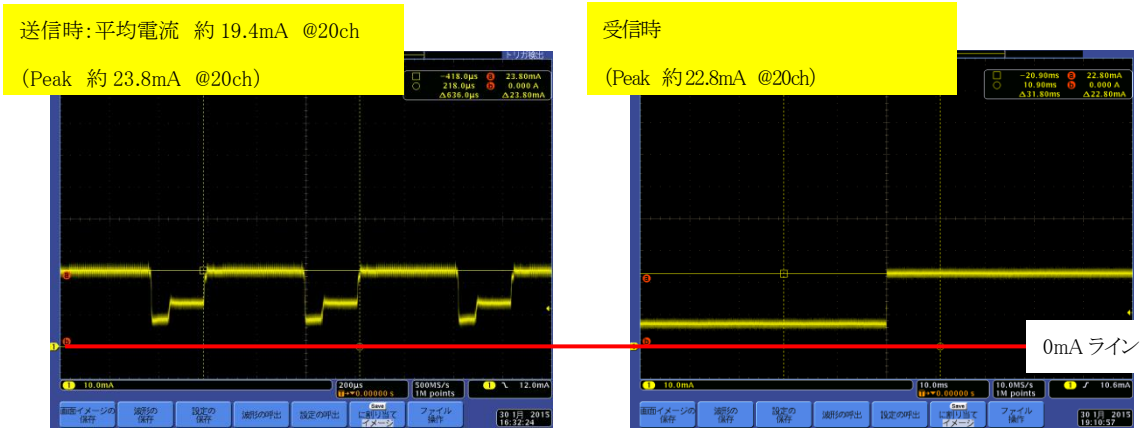


図 3.5-13 A 社 BLE Module 電流波形

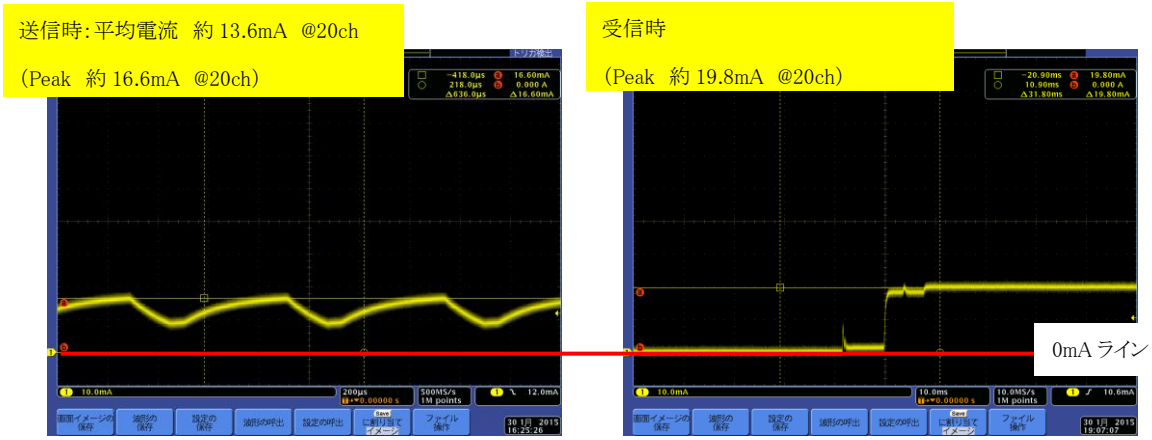


図 3.5-14 B 社 BLE Module 電流波形

3.6.　700MHz 帯高度道路交通システムに対する影響

A 社及び B 社の BLE Module が 700MHz 帯高度道路交通システム:歩車間通信に干渉を与えないか具体的には、両社 Module の 760MHz 帯の雑音電力を評価し、本雑音電力のレベルが 700MHz 帯通信端末の無線通信に障害(送信特性に対する特性劣化や感度抑圧)を与えないかを検証した。BLE を 700MHz 帯通信端末へ内蔵化する検証実験及び模擬実験の結果、700MHz 帯通信端末の無線特性に劣化を生じていない。つまり、BLE は 700MHz 帯通信端末に干渉を与えていない。よって、700MHz 帯通信端末に BLE を内蔵化する方式は干渉課題を生じないと考えられる。以降に実証実験及び模擬実験の確認結果を記載する。

3.6.1.　760MHz 帯雑音電力評価環境

760MHz 帯の雑音電力評価ブロック図を図 3.6-1 にまた、実際の評価環境を図 3.6-2 に示す。シールドルーム内にて BLE Module を連続送信 Mode に入れ、スペクトラムアナライザにて雑音電力を評価する。

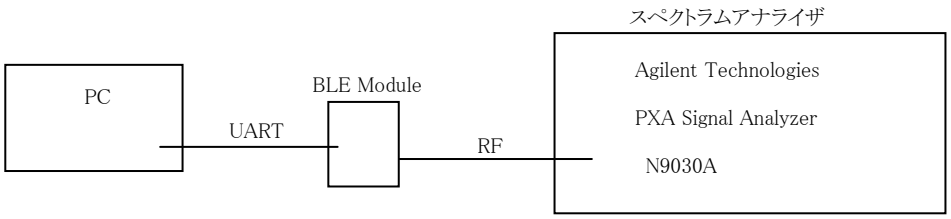


図 3.6-1 評価ブロック図

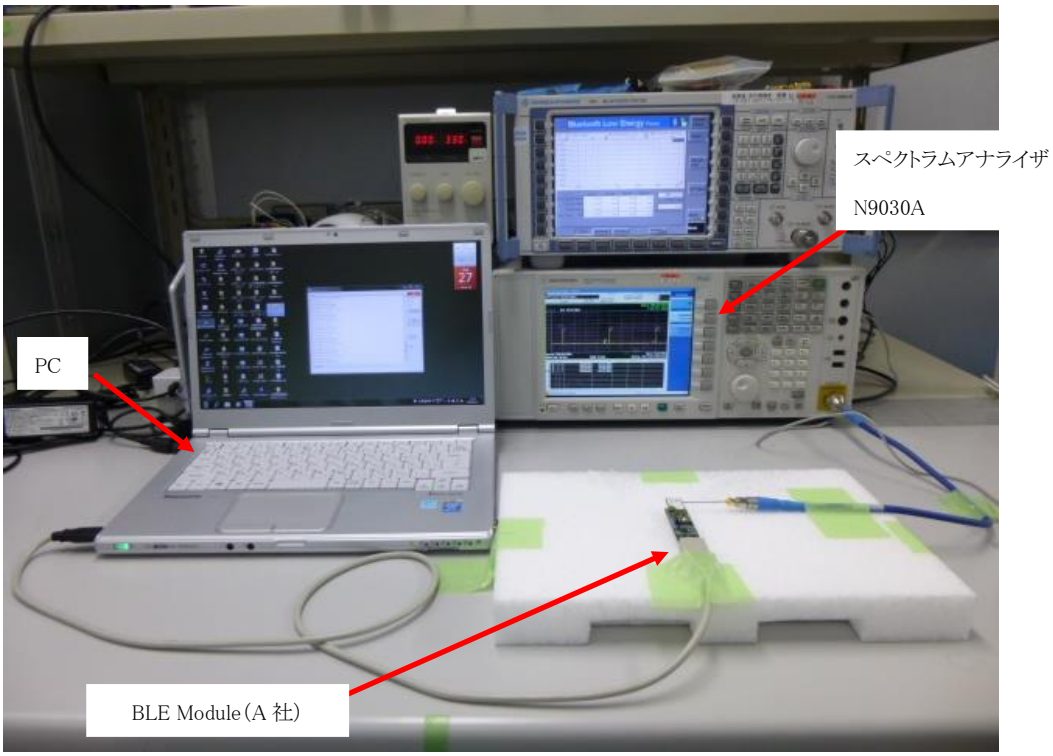


図 3.6-2 評価環境

尚、連続送信の評価ツールとしてA社に関してはBLE Tester for Type-VZ 1.12、B社に関してはuEnergyTest-Test Command Modの専用ツールがリリースされている。また、A社に関してはコマンド入力にて連続送信及びChannel設定を行う。以下にそのコマンドを示す。

コマンド:21　31　c0　00

21:Code　31:連続送信　c0:Payload　00:Channel

Channel　00:0ch(2402MHz)

14:20ch(2442MHz)

27:39ch(2480MHz)

3.6.2. 760MHz帯雑音電力

両社専用ツールを使用して760MHz帯の雑音電力を評価した結果を以下に示す。A社BLE Module送信時のSpectrum波形を図 3.6-3に、B社BLE Module送信時のSpectrum波形を図 3.6-4に示す。

700MHz帯通信端末の受信帯域幅はIEEE802.11pの規定にて受信帯域幅:10MHzとなっている事からスペクトラムアナライザのRBWを10MHz設定として760MHz帯の雑音電力を評価した。A社の760MHz帯の雑音電力は、約-85dBm／10MHzとなっている。また、送信OFFからの雑音電力は約13dB増加している。

B社の雑音電力は、送信OFF時に-78dBm／10MHzであったものが送信ONとする事で約-72dBm／10MHz約6dB増加し、更にMini USBケーブル未接続からは約26dB増加している(A社BLE Moduleの送信OFFと同等)。B社に関してはMini USB接続時のAdapterからの雑音(ノイズ)の廻り込みが大きく760MHz帯の雑音電力値はA社より約13dB高いレベルとなっている。

以上のようにBLE Module動作(送信)時の760MHz帯の雑音電力は、A社が約-85dBm／10MHz、B社が約-72dBm／10MHzとなっている。

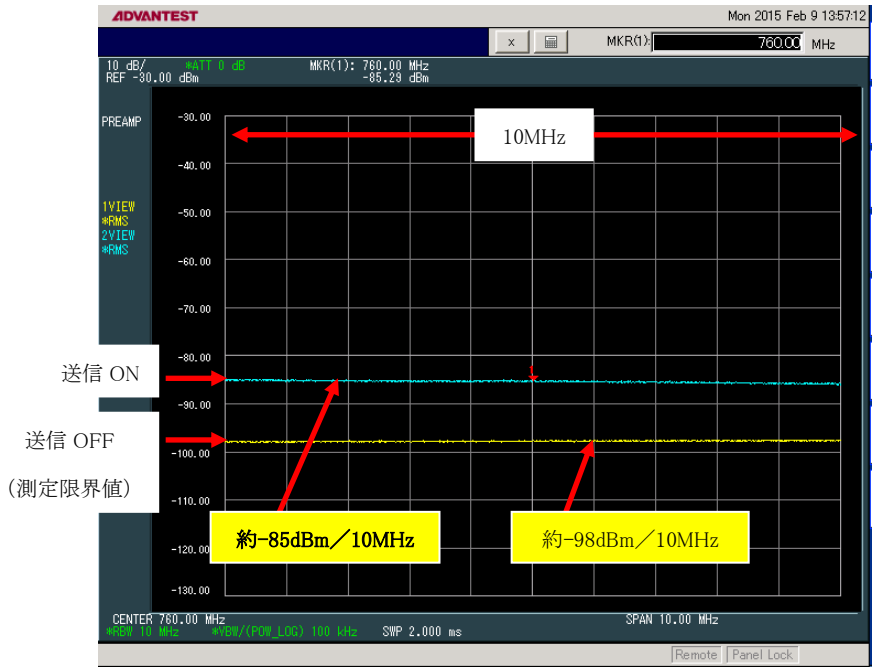


図 3.6-3 A 社 BLE Module 送信時の 760MHz 帯雑音電力

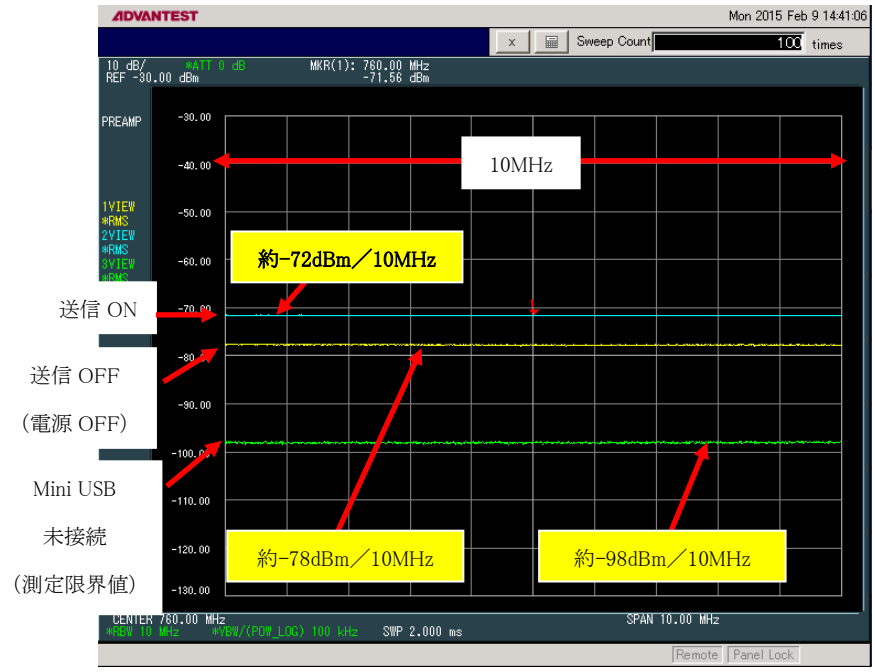


図 3.6-4 B 社 BLE Module 送信時の 760MHz 帯雑音電力

BLE Moduleの760MHz帯ダイレクトの雑音電力は以上の値となっているが、700MHz帯通信端末（760MHz帯）とBLE（2.4GHz帯）はそれぞれアンテナが配置される。よって、700MHz帯通信端末とBLEのアンテナにはアンテナ間にアイソレーションを持つ。700MHz帯通信端末とA社BLE Moduleを用いて両アンテナのアイソレーションを評価した結果、アイソレーション量は30～43dBとなっている。

IEEE802.11pに規定されているReceiver minimum input sensitivityの最良値である一次変調のBPSK(1／2)：-85dBm／10MHzを基に熱雑音からバンド幅とNFを加算した許容雑音電力としては-93.4dBm／10MHz（ Implementation margins:5dBは含まず）となる。

700MHz帯通信端末の760MHzアンテナに対してA社BLE Moduleのアンテナを3ヶ所の位置に配置すると共にアンテナの指向性を含めた 6 ポイントにてアンテナ間アイソレーションを検証実験した結果とReceiver minimum input sensitivityの許容雑音電力の算出結果に関しては3.6.3章に記載する。

以上より、BLE Moduleの760MHz帯雑音電力の実測値からアンテナ間アイソレーションを含めた760MHz帯の雑音電力値はA社で-115～-128dBm／10MHz、B社で-102～-115dBm／10MHzとなり、A社及びB社共にIEEE802.11p規定の許容雑音電力値：-93.4dBm／10MHzを満足している。よって、検証実験の結果、700MHz帯通信端末の受信特性に影響（干渉）はしない。更に、700MHz 帯通信端末のアンテナへ BLE Module のアンテナを近接させて無線特性（送信特性及び受信特性）を評価した模擬実験（A社BLE Module）に於いても700MHz帯通信端末の無線性能に影響（干渉）はない事も確認した。

模擬実験した評価内容に関しては3.7章に記載する。

3.6.3. 700MHz 帯通信端末 VS BLE Module のアンテナ間アイソレーション

A 社 BLE Module を用い、A 社の BLE Chip アンテナと 700MHz 帯通信端末のアンテナのアンテナ間アイソレーション評価結果を以下に示す。ネットワークアナライザを用いた測定環境を図 3.6-5 に、測定した BLE Module と 700MHz 帯通信端末のアンテナ位置 A-F を図 3.6-6～図 3.6-11 にまた、それぞれのアイソレーション測定結果を図 3.6-13～図 3.6-18 に示す。

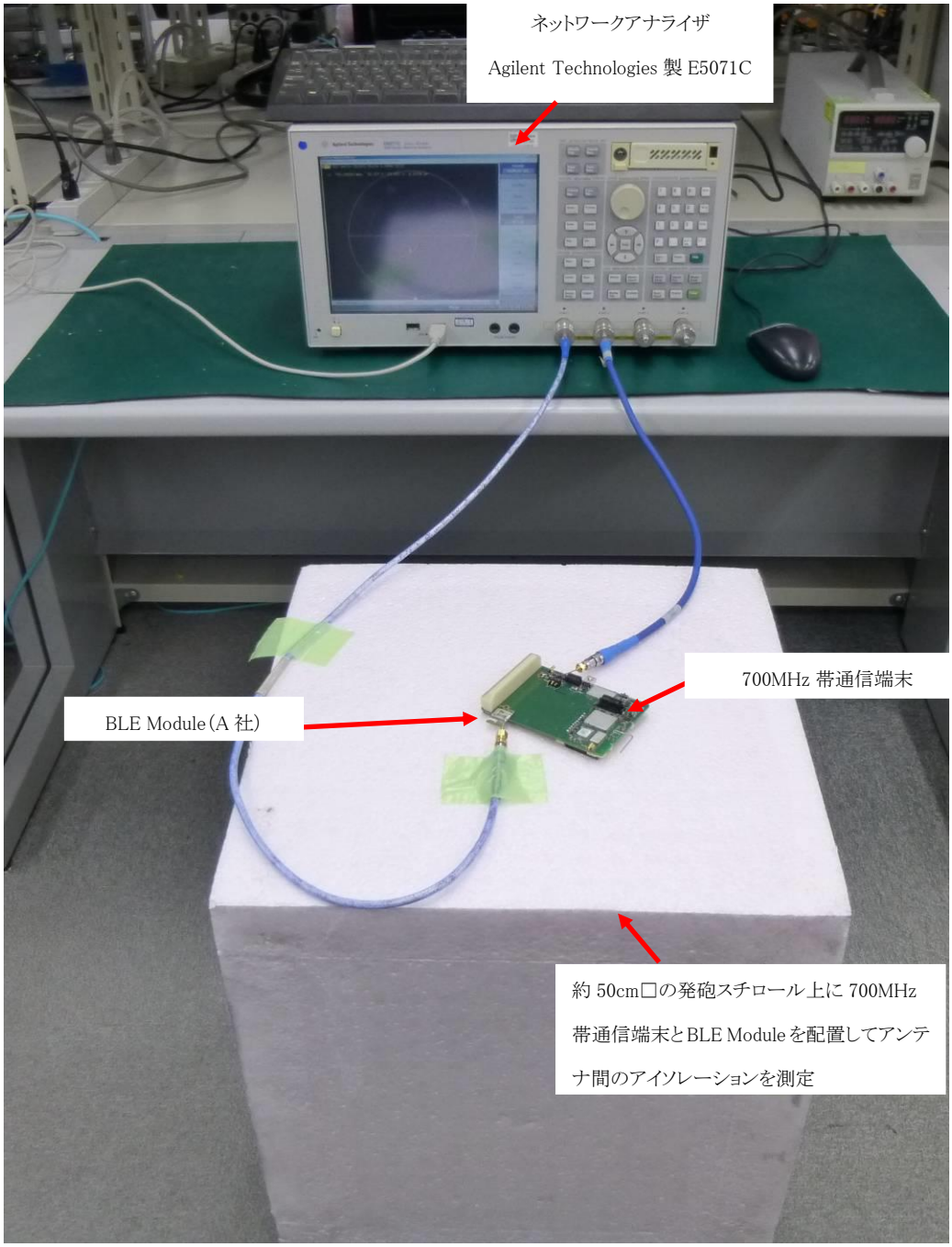


図 3.6-5 測定環境

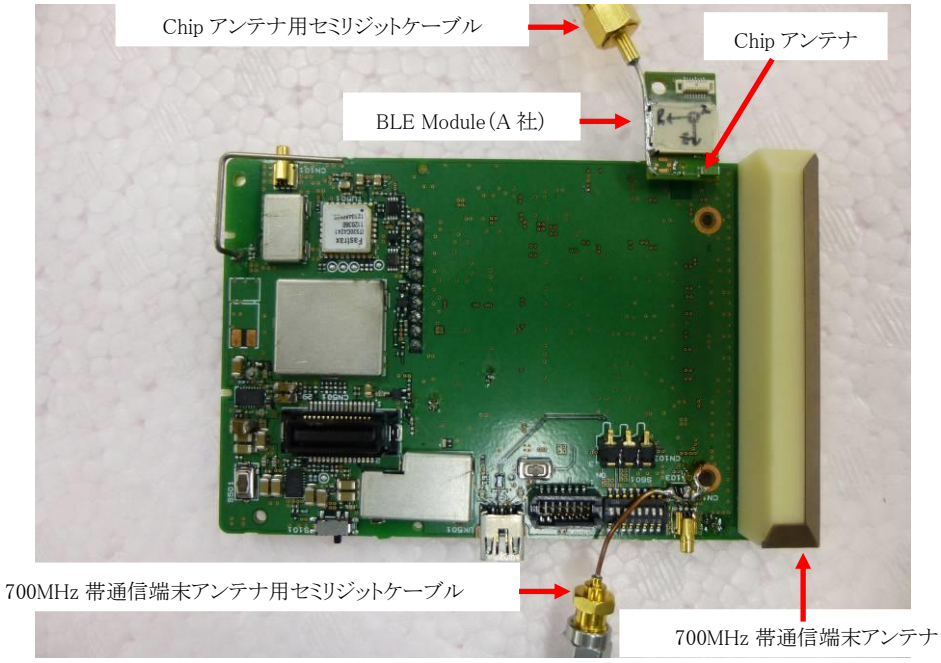


図 3.6-6 アンテナ位置 A

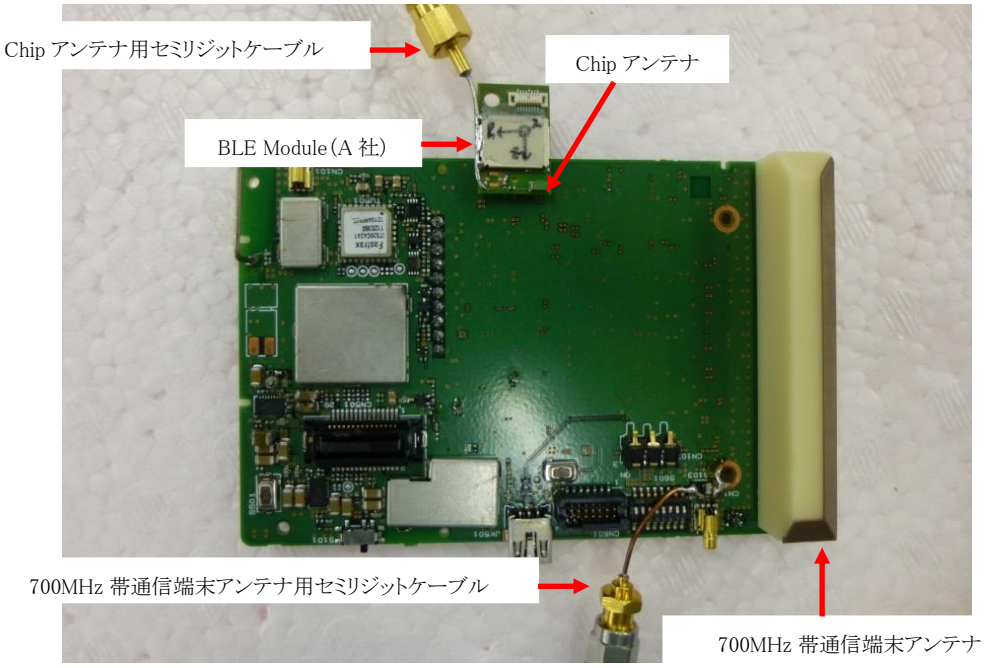


図 3.6-7 アンテナ位置 B

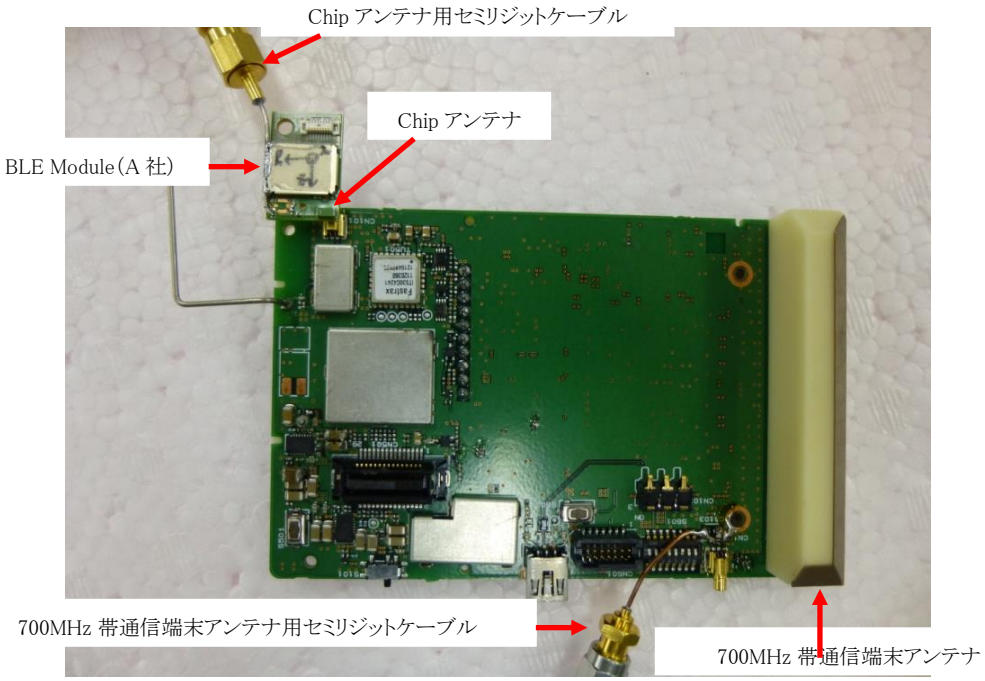


図 3.6-8 アンテナ位置 C

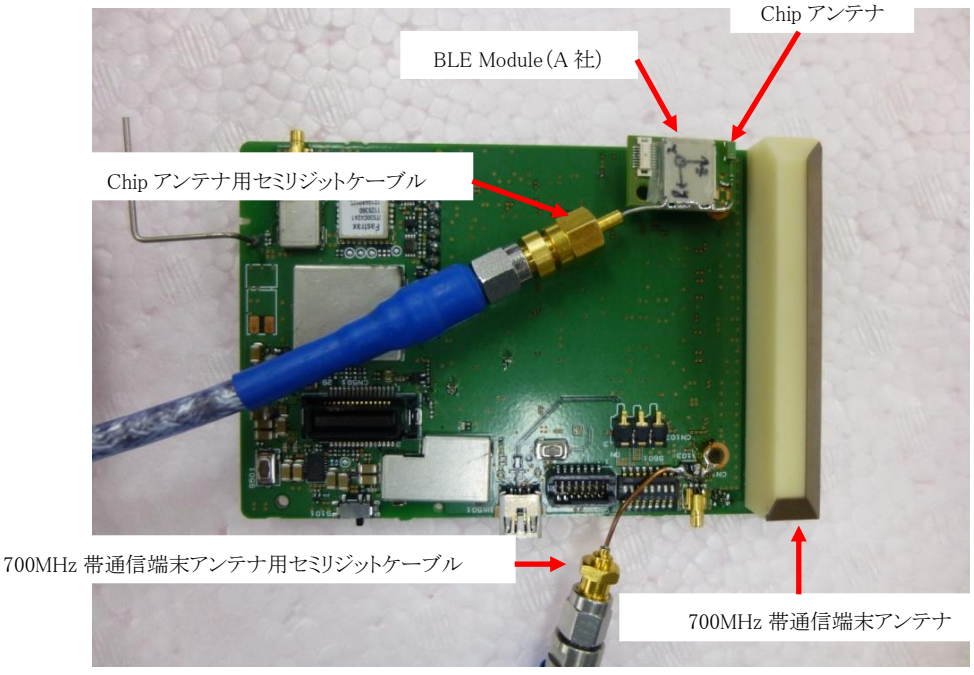


図 3.6-9 アンテナ位置 D

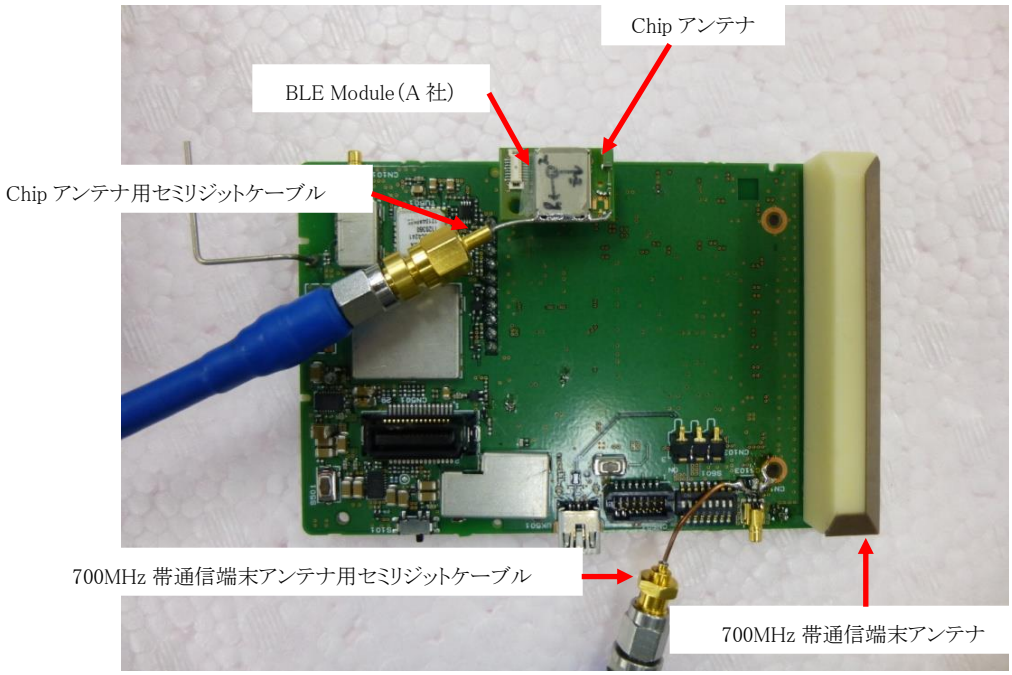


図 3.6-10 アンテナ位置 E

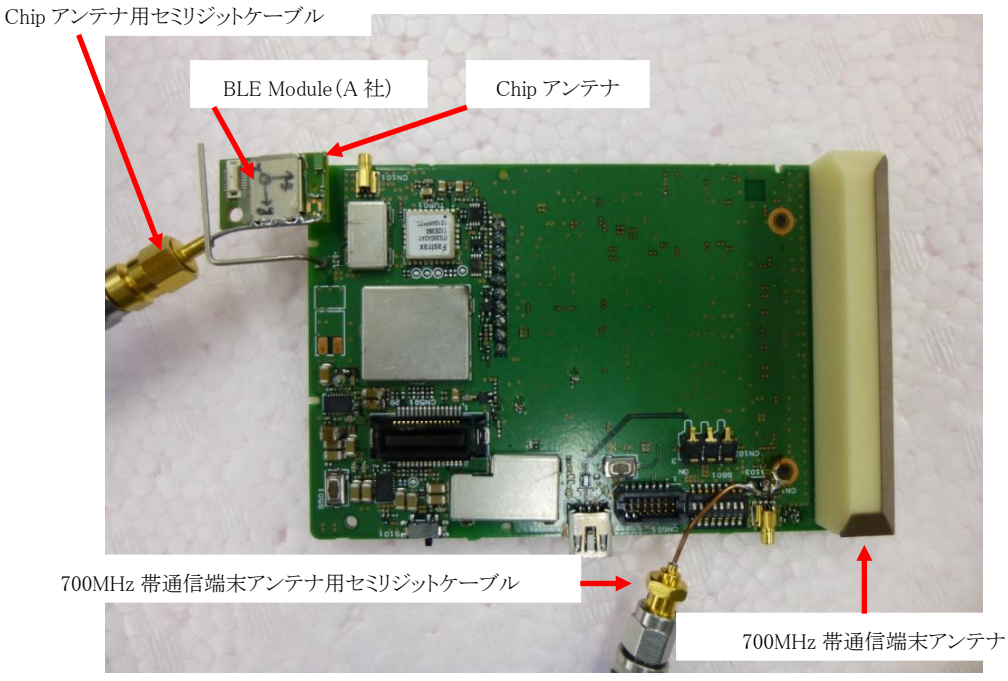


図 3.6-11 アンテナ位置 F

事前確認として 700MHz 帯通信端末のアンテナの VSWR(電圧定在波比)を図 3.6-12 に示す。VSWR は2以下であることから、アンテナとの整合として問題はない。尚、A 社 Chip アンテナの効率に関しては 3.7.3 章に記載しているがメーカ提示の効率となっている事を確認済みである。

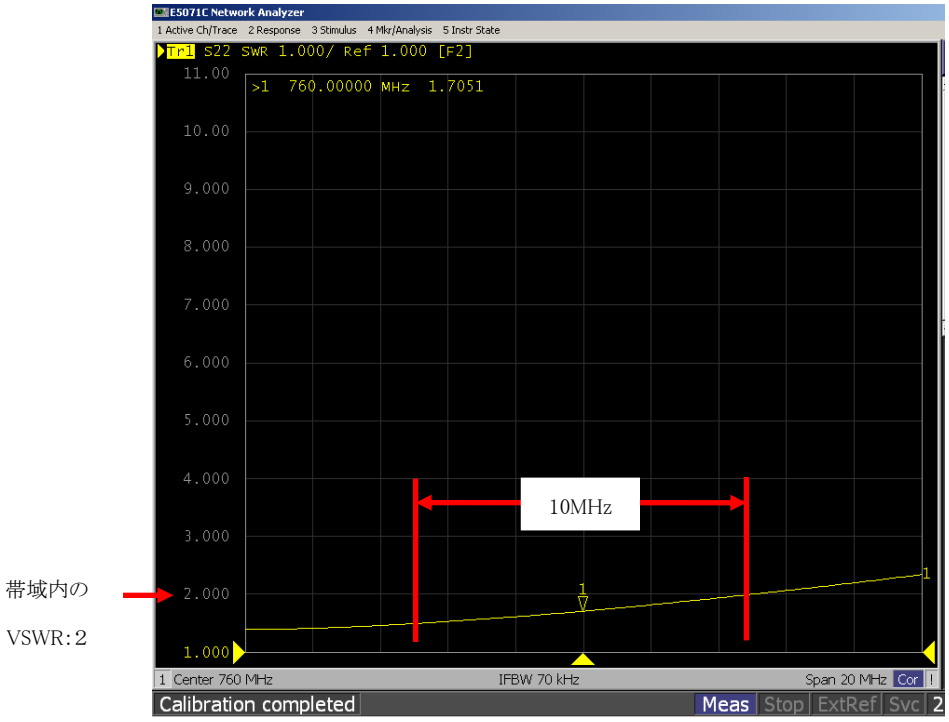


図 3.6-12 700MHz 帯通信端末アンテナ特性(VSWR)

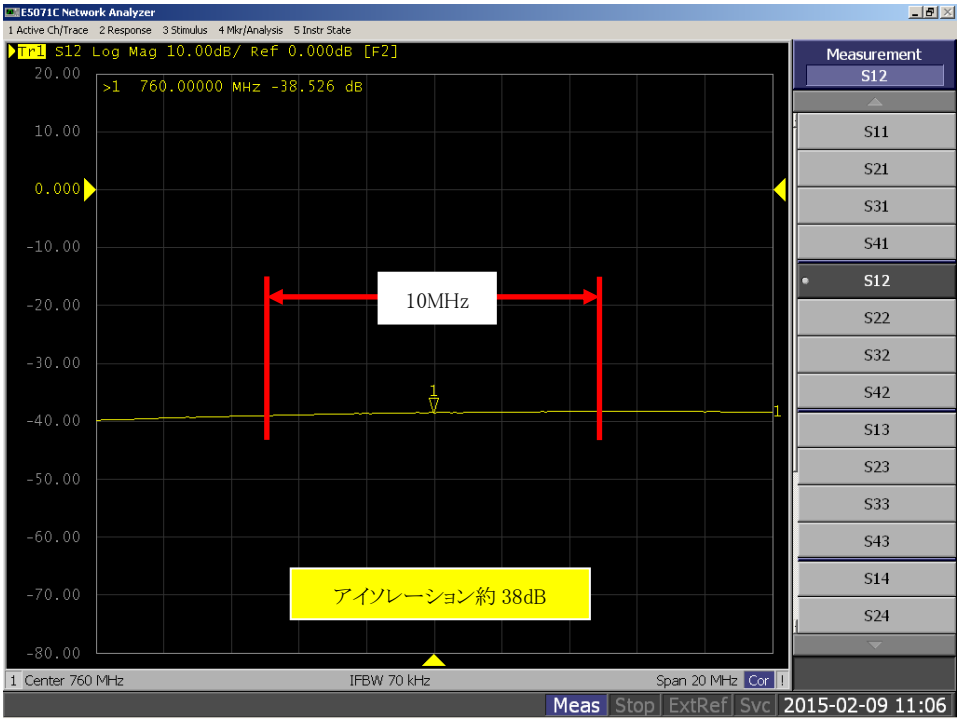


図 3.6-13 アンテナ位置 A のアイソレーション

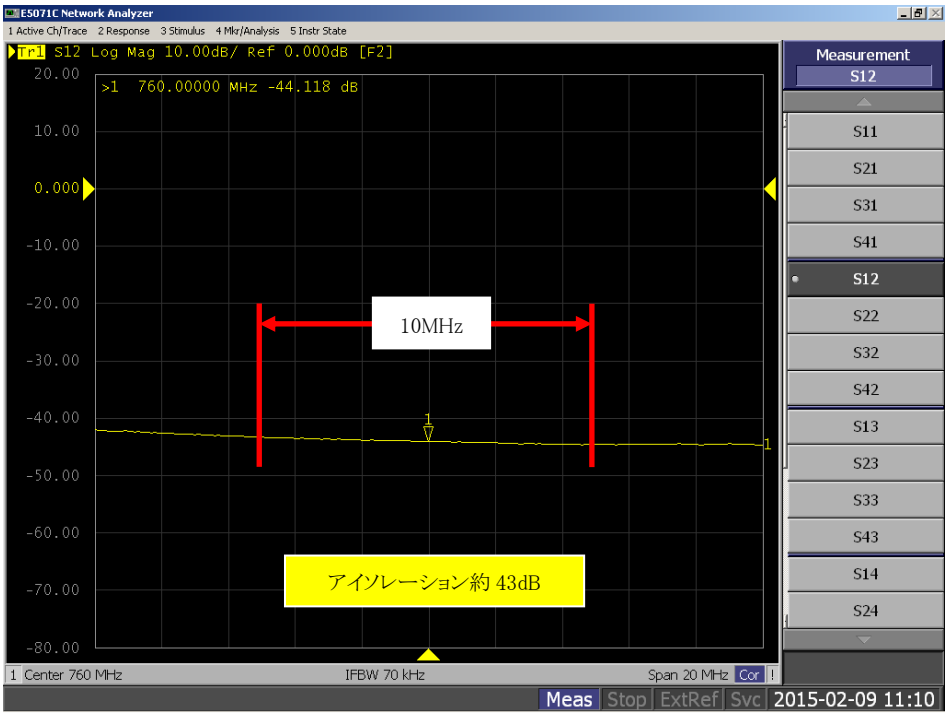


図 3.6-14 アンテナ位置 B のアイソレーション

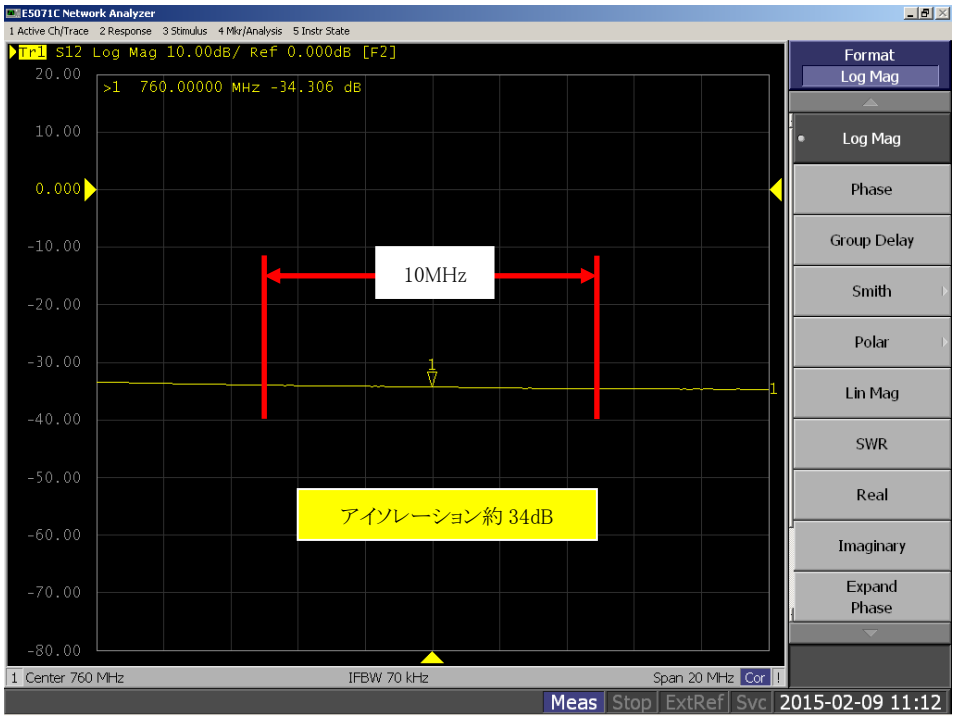


図 3.6-15 アンテナ位置 C のアイソレーション

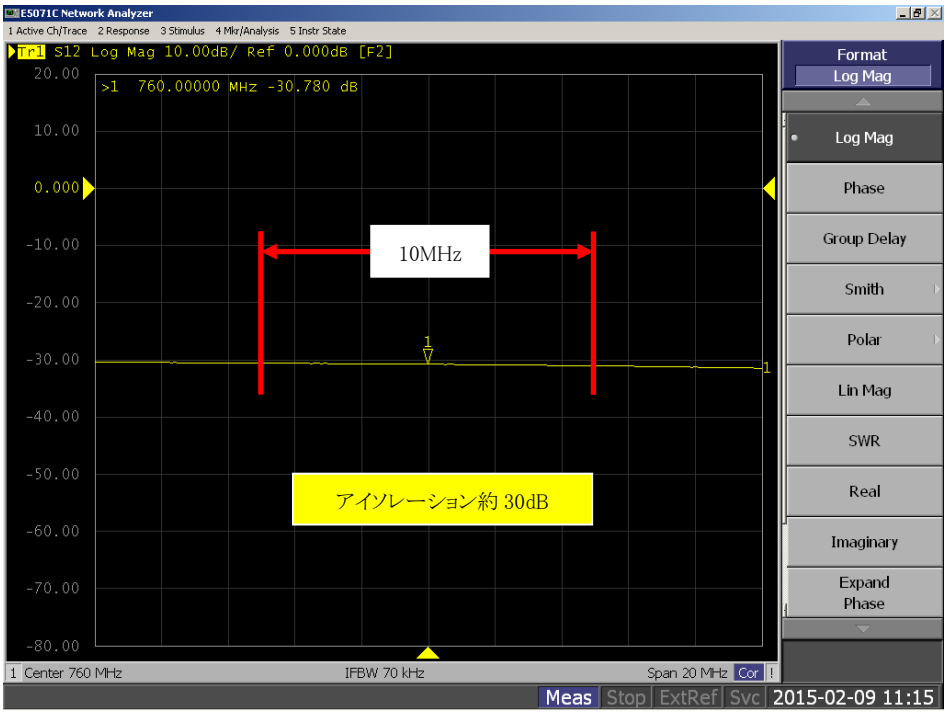


図 3.6-16 アンテナ位置 D のアイソレーション

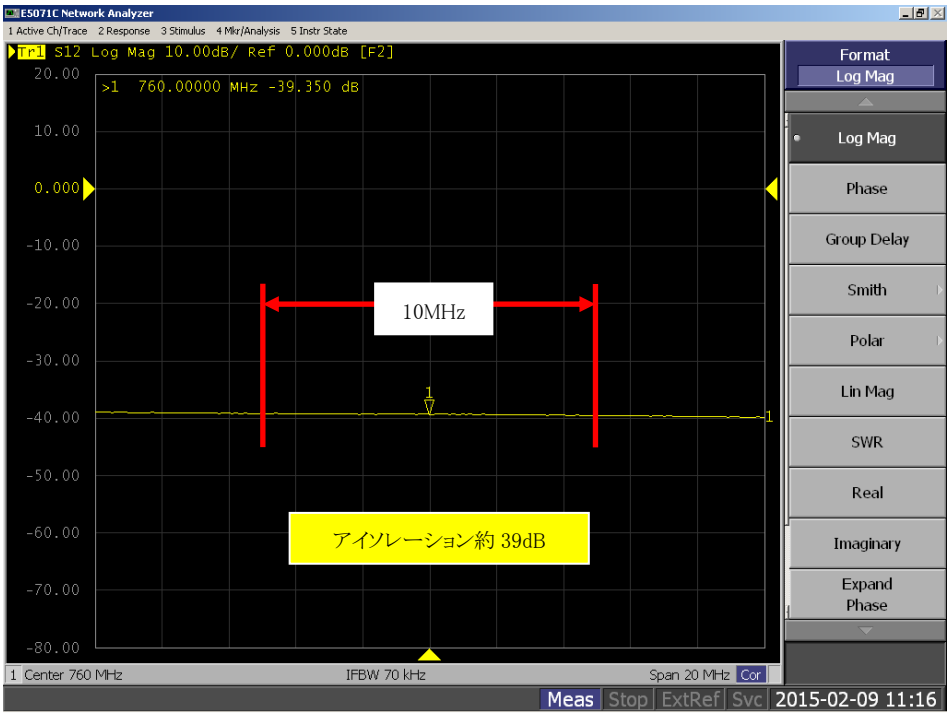


図 3.6-17 アンテナ位置 E のアイソレーション

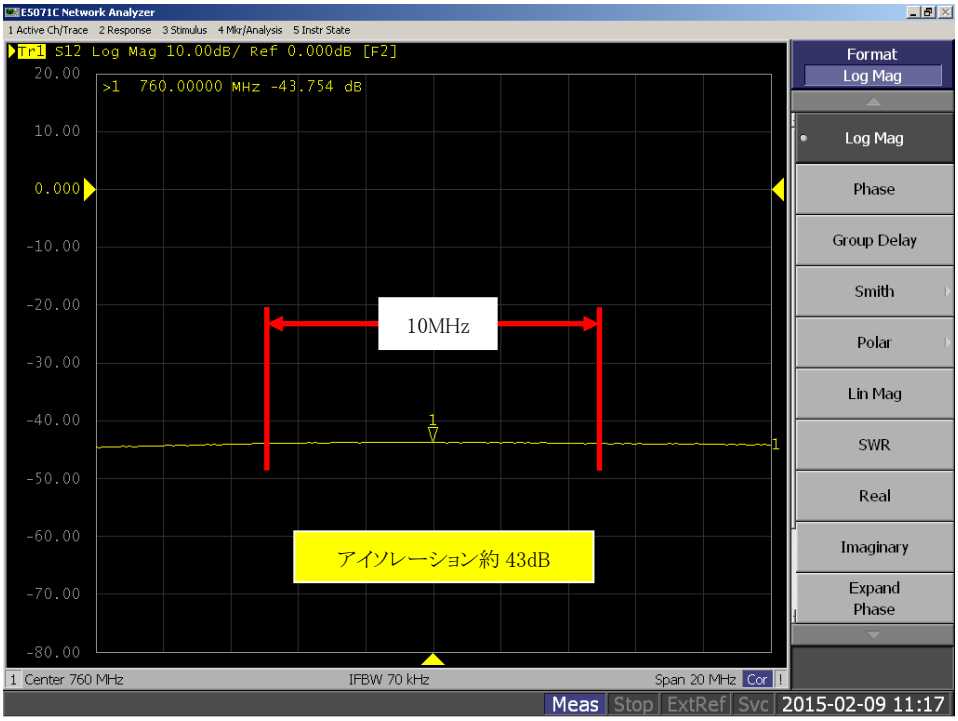


図 3.6-18 アンテナ位置 F のアイソレーション

以上の様に 700MHz 帯通信端末のアンテナ位置に対する BLE Module のアンテナ位置を 3 か所更に、アンテナの指向性を含めた 6 ポイントにてアイソレーションを確認した結果、アイソレーションの最悪値はアンテナ位置 D(700MHz 帯通信端末のアンテナ位置に最も近接した状態)の約 30dB となっており、6 ポイントに於けるアイソレーション量は 30～43dB となっている事が分かった。

次に参考文献[5]に示す IEEE802.11p の感度規定から許容雑音電力値を算出する。IEEEE802.11p の感度規格(抜粋)を表 3.6-1 に、許容雑音電力計算結果を表 3.6-2 に示す。表 3.6-2 に示す様に IEEEE802.11p の感度規格より熱雑音からバンド幅と NF を加算した許容雑音電力は-93.4dBm／10MHz となる。

表 3.6-1 IEEE802.11p 感度規格(抜粋)

18.3.10.2 Receiver minimum input sensitivity

The packet error ratio (PER) shall be 10% or less when the PSDU length is 1000 octets and the rate-dependent input level is as shown in Table 18-14. The minimum input levels are measured at the antenna connector (noise factor of 10 dB and 5 dB implementation margins are assumed).

Table 18-14—Receiver performance requirements

Modulation	Coding rate (R)	Adjacent channel rejection (dB)	Alternate adjacent channel rejection (dB)	Minimum sensitivity (dBm) (20 MHz channel spacing)	Minimum sensitivity (dBm) (10 MHz channel spacing)	Minimum sensitivity (dBm) (5 MHz channel spacing)
BPSK	1/2	16	32	–82	–85	–88
BPSK	3/4	15	31	–81	–84	–87
QPSK	1/2	13	29	–79	–82	–85
QPSK	3/4	11	27	–77	–80	–83
16-QAM	1/2	8	24	–74	–77	–80
16-QAM	3/4	4	20	–70	–73	–76
64-QAM	2/3	0	16	–66	–69	–72
64-QAM	3/4	–1	15	–65	–68	–71

表 3.6-2 許容雑音電力計算

熱雑音	-173.4	dBm/Hz
BW=10MHz	70	dB
受信帯域内の熱雑音(NF劣化なし)	-103.4	dBm/10MHz
NF	10	dB
implementation margins	5	dB
許容雑音電力(NF10dB加算)	-93.4	dBm/10MHz

以上の様にA社及びB社BLE Moduleの760MHz帯雑音電力にアンテナ間アイソレーション量を加えるとA社BLE Moduleでは-115～-128dBm／10MHz、B社BLE Moduleでは-102～-115dBm／10MHzとなり、何れもIEEE802.11pの感度規格より算出した許容雑音電力:-93.4dBm／10MHzを満足する。尚、IEEE802.11pの感度規格より算出した雑音電力からA社BLE Moduleでは-21.6dBと十分低いため電力加算してもほぼ影響しないが、B社BLE Moduleに関しては-8.6dBのため電力加算した場合約0.4dB劣化する計算となる。前章にも記載したが、B社の760MHz帯雑音電力値はModule本体の純粋な雑音電力ではなく、Module評価ツール(Adapter)からのノイズの廻り込みの影響が大きい。

3.6.4. BLE Module 760MHz 帯雑音電力劣化検証

760MHz帯の雑音電力はA社及びB社共にBLE Module電源OFFから電源ONする事により劣化がある。また、Spuriousが発生しており本Spuriousに関して検証した。尚、Spurious観測のため、RBWを10kHzに設定してA社及びB社BLE Moduleの Spectrumを検証した。Spectrum波形を図 3.6-19～図 3.6-20に示す。

A社及びB社共にSpuriousが発生しており、A社はSpuriousレベルが大きく、B社はフロアーレベルが大きい。A社BLE Moduleの760MHz付近のSpectrum波形を図 3.6-21に示す。

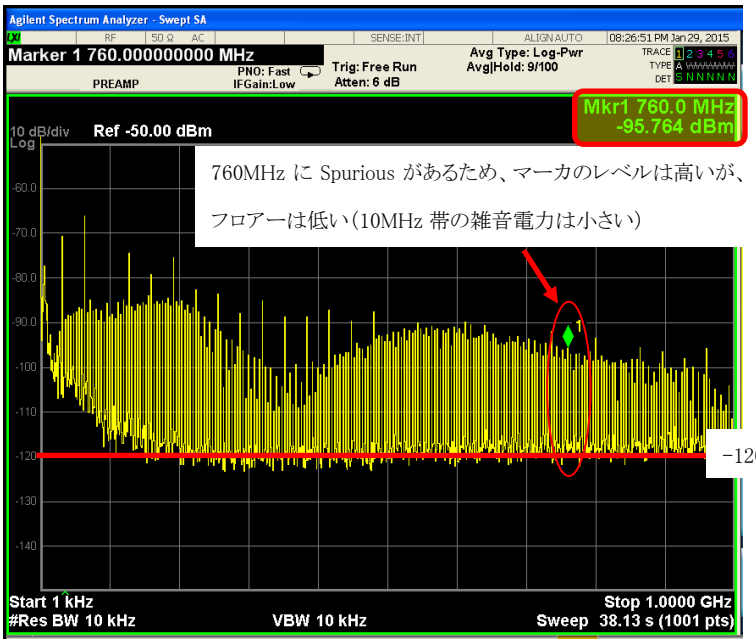


図 3.6-19 A 社 BLE Module f=1kHz～1GHz Spectrum 波形

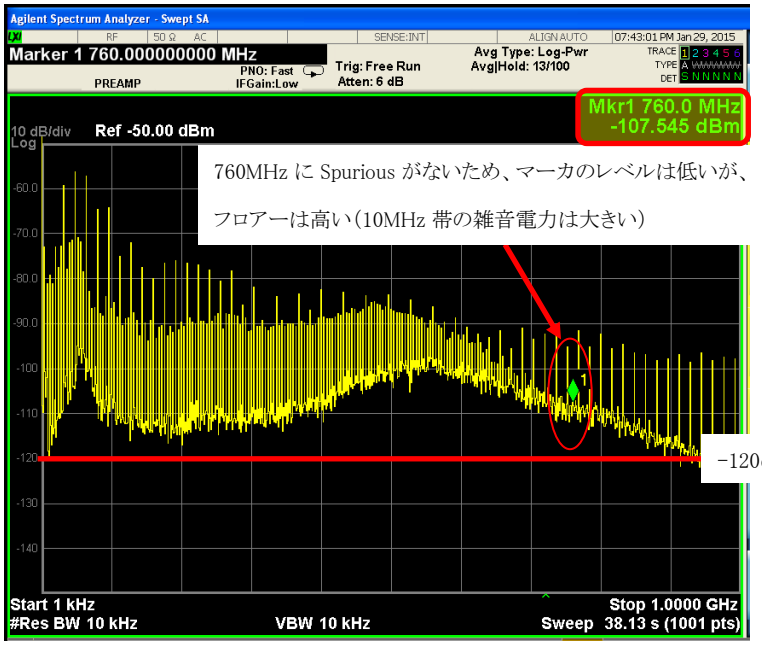


図 3.6-20 B 社 BLE Module f=1kHz～1GHz Spectrum 波形

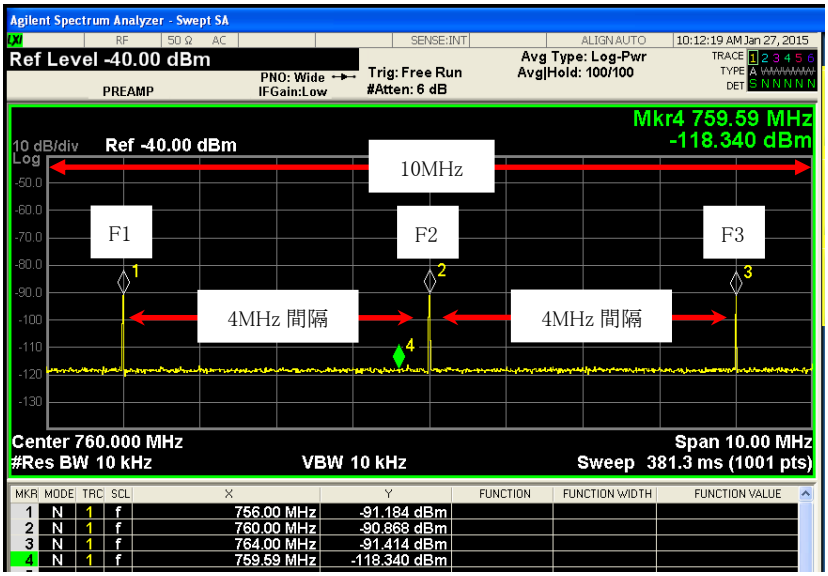


図 3.6-21 A 社 BLE Module 760MHz 帯 Spurious 波形

760MHz(F2)とその±4MHz(F1&F3)に Spurious がある。本 Spurious は、BLE Module の Channel を変更しても Spurious の周波数に変化がない事から BLE Module の送信周波数で作られる成分ではない。確認した結果、本 Spurious の成分は Module 内部のシンセのリファレンスクロック:32MHz の高調波とシンセの分周周波数:4MHz の高調波がミキシングして発生している事が分かった。以下に受信帯域内に入り込む Spurious 計算を示す。

f_{Ref}=32MHz、f_{DIV}=4MHz

F1: $f_{Ref} \times 24 - f_{DIV} \times 3 = 756MHz$

F2: $f_{Ref} \times 24 - f_{DIV} \times 2 = 760MHz$

F3: $f_{Ref} \times 24 - f_{DIV} \times 1 = 764MHz$

尚、本 Spurious のレベルは F1～F3 で約-91dBm となっている。更に、これら Spurious は峡帯域(大凡 400Hz の線 Spurious)な成分となっている事も分かっている。

B 社 BLE Module の Spectrum 波形を図 3.6-22 に示す。A 社 BLE Module と同様に Spurious の成分は、Module 内のシンセのレファレンスクロック（B 社では 16MHz）：16MHz の高調波とシンセの分周周波数（A 社と同じ）：4MHz の高調波がミキシングして発生している。B 社のレファレンスクロックが 16MHz である事から A 社同様の Spurious 計算から 47 倍と高調波の次数が 2 倍程度になる。更に、シンセの分周周波数：4MHz の Spurious レベルが低いため、図 3.6-20 に示した様に A 社とは異なり 760MHz 帯での Spurious のレベルは小さい結果となっている。しかし、B 社 BLE Module は 760MHz 帯におけるフロアー（雑音電力）が高い。その原因の 1 つは、BLE の LSI に CPU が内蔵されており、本 CPU のノイズ影響や降圧 DC/DC コンバータ（3V⇒1.3V）の影響、更に Module を制御する（PC と Module の間に）Adapter があり本 Adapter 等の影響が考えられる。実験結果から特に Adapter を介したノイズの廻り込みが大きい現象となっている。B 社 BLE Module の評価環境を図 3.6-23 にまた、B 社 Module の実装図を図 3.6-24 に示す。

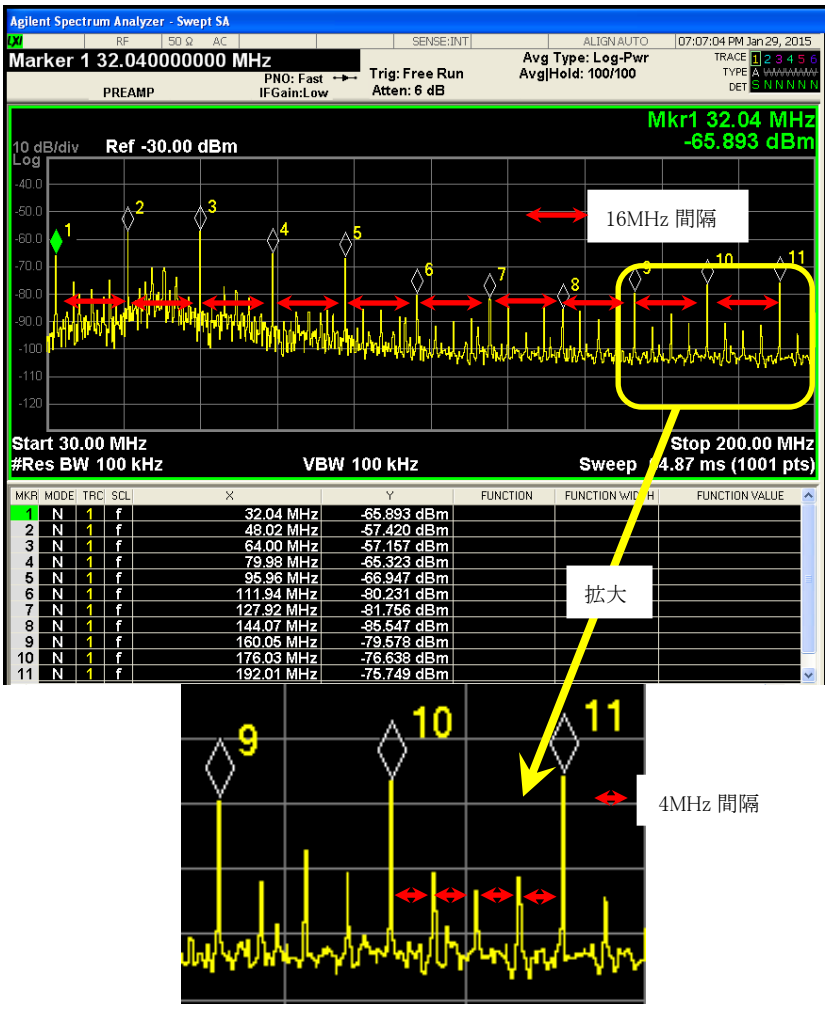

Agilent Spectrum Analyzer - Swept SA
Marker 1 32.040000000 MHz
PREAMP
PNO: Fast
IFGain:Low
Trig: Free Run
Atten: 6 dB
Avg Type: Log-Pwr
Avg|Hold: 100/100
07:07:04 PM Jan 29, 2015
Mkr1 32.04 MHz
-65.893 dBm
10 dB/div
Log
Ref -30.00 dBm
16MHz 間隔
Start 30.00 MHz
#Res BW 100 kHz
VBW 100 kHz
Stop 200.00 MHz
Sweep 4.87 ms (1001 pts)
1 N 1 f 32.04 MHz -65.893 dBm
2 N 1 f 48.02 MHz -57.420 dBm
3 N 1 f 64.00 MHz -57.157 dBm
4 N 1 f 79.98 MHz -65.323 dBm
5 N 1 f 95.96 MHz -66.947 dBm
6 N 1 f 111.94 MHz -80.231 dBm
7 N 1 f 127.92 MHz -81.756 dBm
8 N 1 f 144.07 MHz -85.547 dBm
9 N 1 f 160.05 MHz -79.578 dBm
10 N 1 f 176.03 MHz -76.638 dBm
11 N 1 f 192.01 MHz -75.749 dBm
拡大
4MHz 間隔

図 3.6-22 B 社 BLE Module Spurious 波形

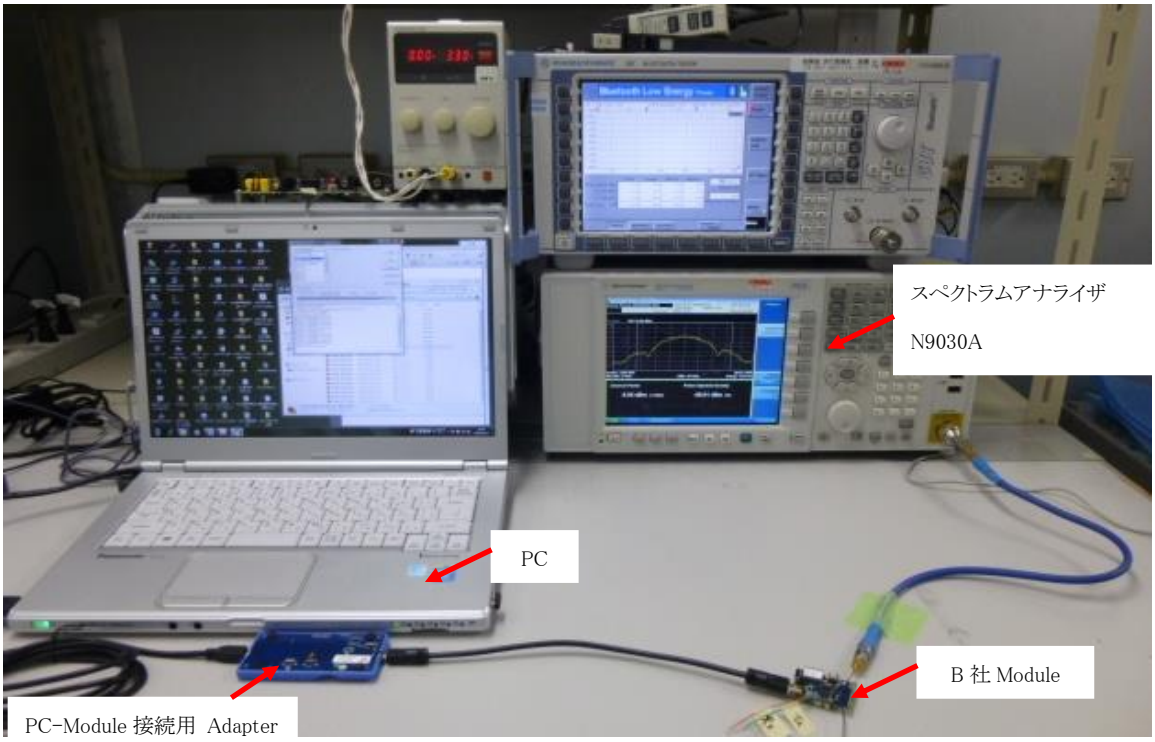


図 3.6-23 B 社 BLE Module 測定環境

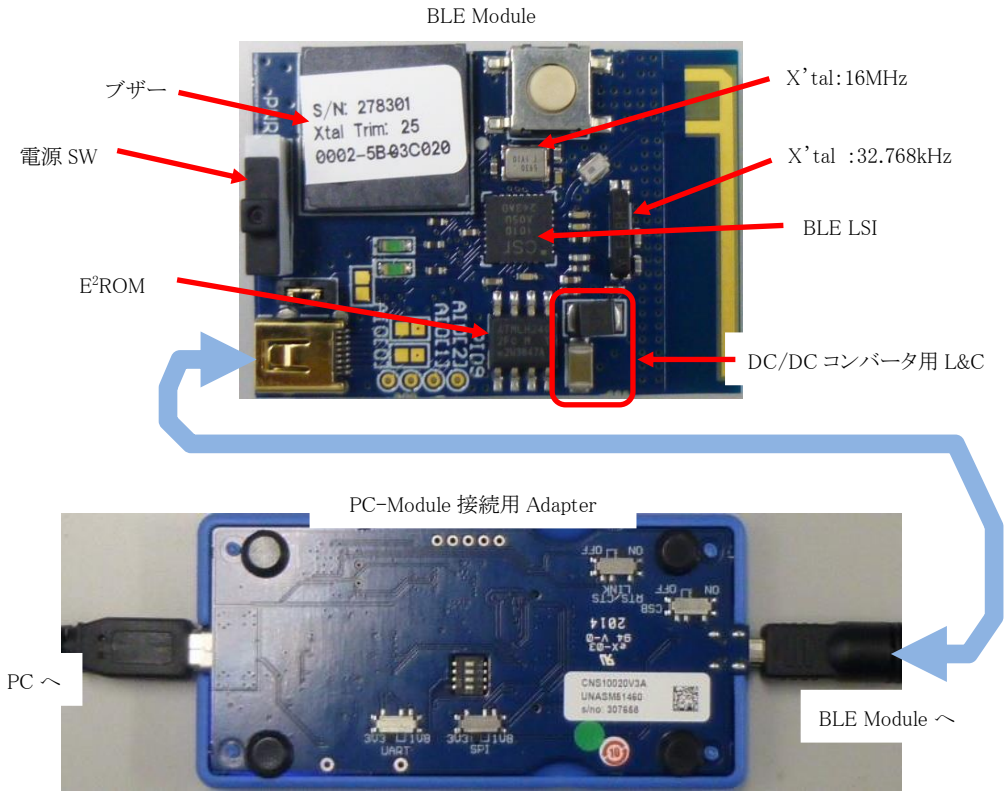


図 3.6-24 B 社 Module の実装図と Adapter

3.7.　700MHz 帯通信端末 BLE 内蔵化模擬実験

700MHz 帯通信端末に BLE を内蔵した際に干渉が発生し、無線特性（送信特性及び受信特性）に劣化を与えないかを検証するため、700MHz 帯通信端末のアンテナに BLE Module のアンテナを結合させた模擬実験を行う。

3.7.1.　700MH z 帯通信端末単体無線特性

700MHz 帯通信端末と BLE Module それぞれアンテナ通信時の干渉有無の見極めを行うが、事前検証として 700MHz 帯通信端末単体の有線による無線特性を確認した。700MHz 帯通信端末の無線（送信）評価環境を図 3.7-1 に示す。

有線に於ける 700MHz 帯通信端末単体の送信特性（送信 Power & Frequency Error & EVM）と受信特性（PER）を評価した。送信特性結果を図 3.7-2～図 3.7-3 に示す。尚、700MHz 帯通信端末の一次変調設定は QPSK（Data rate：6Mbps、Coding Rate：1／2）である事から IEEE802.11p の規格より本条件における変調精度（EVM）は-10dB 以下、受信感度は-82dBm（@PER ＜10%）以下となる。

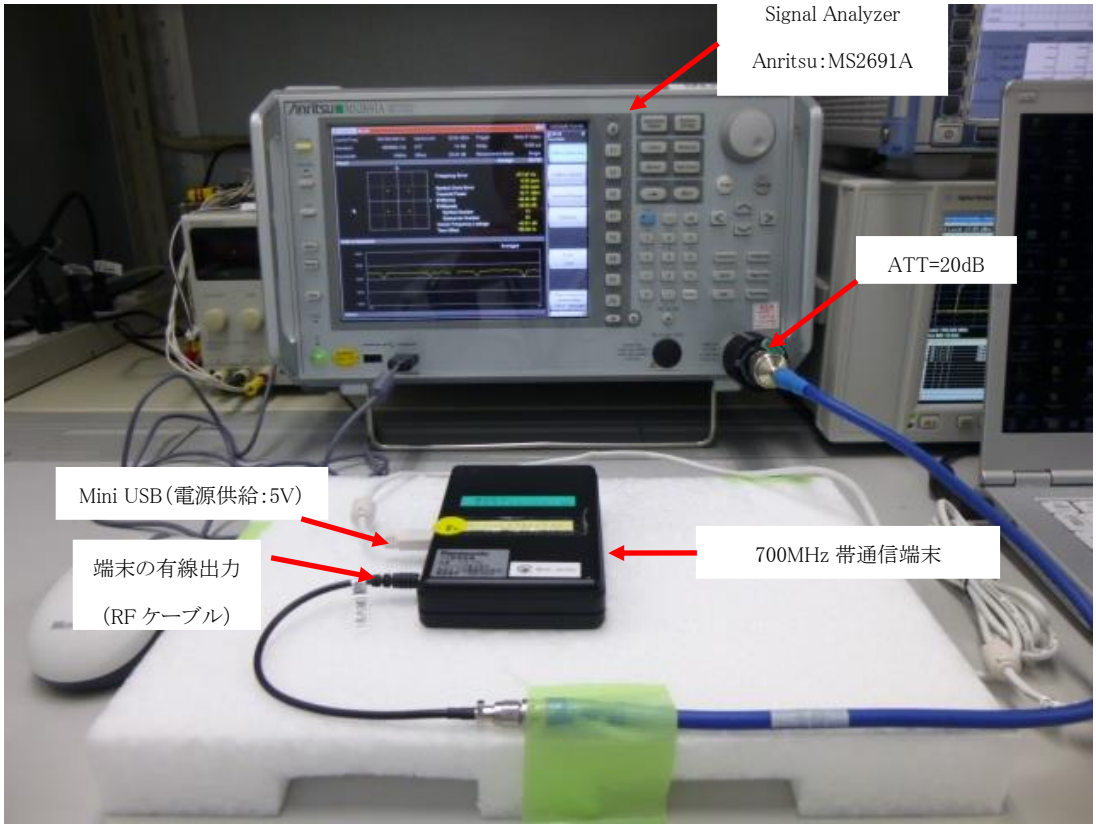


図 3.7-1 700MHz 帯通信端末の無線（送信）評価環境

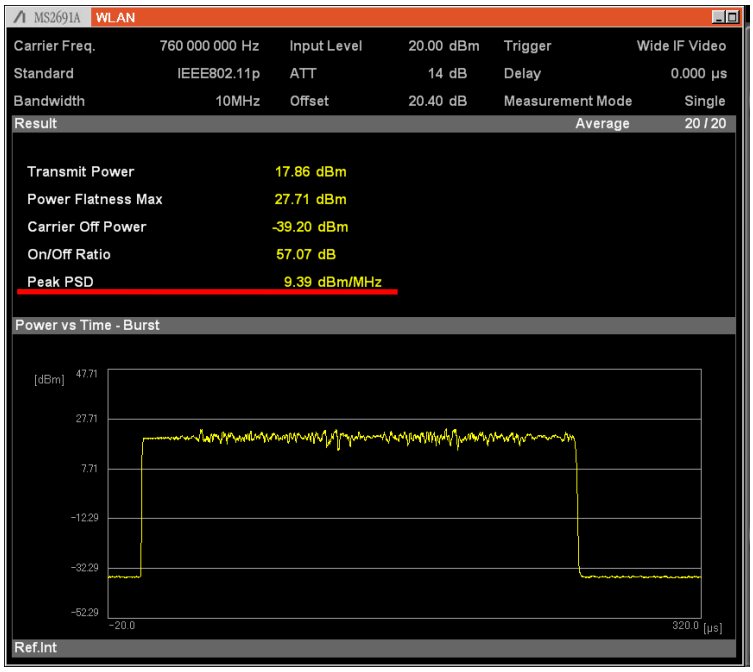


図 3.7-2 送信 Power 特性

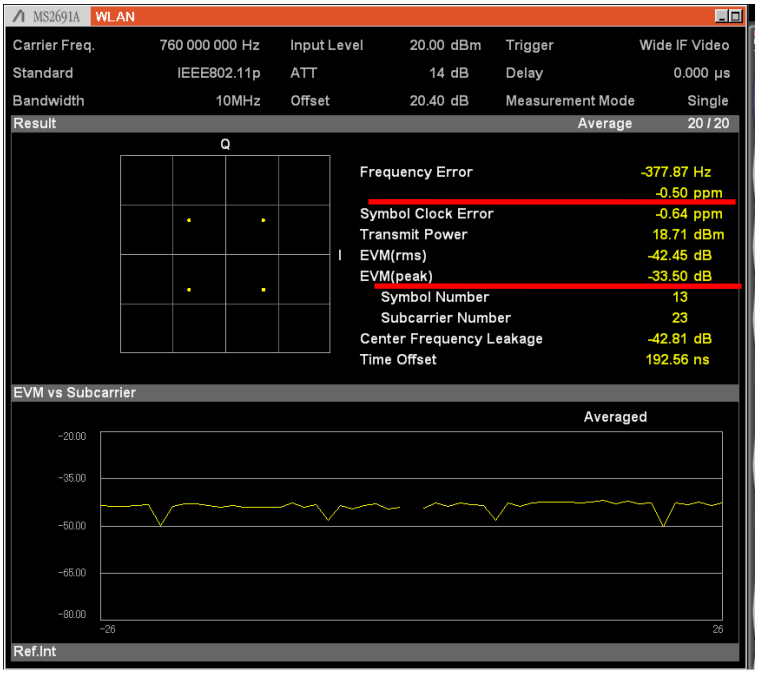


図 3.7-3 Frequency Error＆EVM 特性

図 3.7-2 のように有線時の Power は約 9.4dBm／MHz（規格　空中線電力≦10dBm／MHz）となっている。空中線電力ではないが空中線：アンテナ効率を仮に-5dB とした場合、規格を満足する。図 3.7-3 のように Frequency Error は-0.5ppm（規格　偏差 20×10^{-6}）となっており規格を

満足している。また、EVM 特性に関しても Peak にて-33.5dB(規格-10dB 以下)となっており規格を満たしている事が確認できた。

次に受信感度(PER)特性を示す。本 PER 測定では 700MHz 帯通信端末を 2 台使用し、一方の端末を送信:Tx 端末として端末の ID とカウンタ値を送信し、一方の端末を受信:Rx 端末として Tx 端末から送られた Tx 端末の ID とカウンタ値を受信する。Tx 端末と Rx 端末それぞれログを取得し、本ログから双方の ID とカウンタ値 1000octets 分を比較して算出している。評価ブロック図を図 3.7-4 に、評価環境を図 3.7-5 に示す。また、ログツール Tx 側:車載器設定アプリケーションを図 3.7-6 に、ログツール Rx 側:車載器設定アプリケーションを図 3.7-7 に示し、PER 特性を図 3.7-8 に示す。

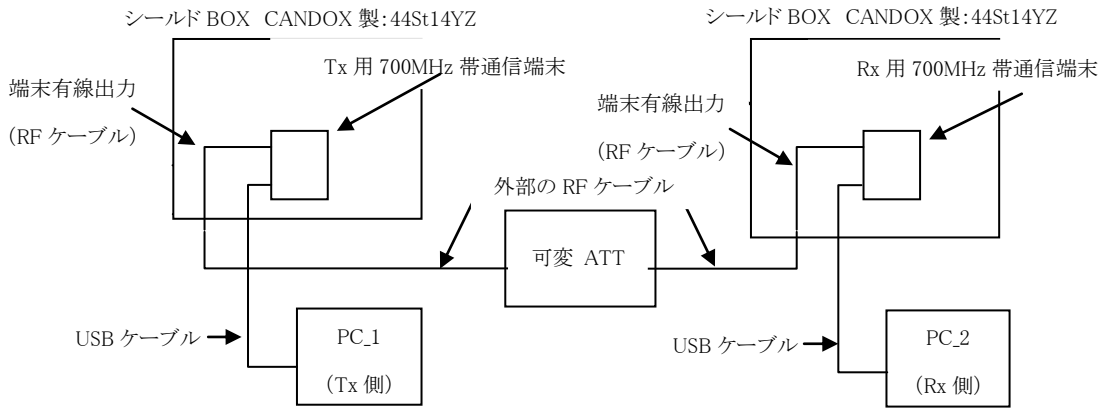


図 3.7-4 評価ブロック図

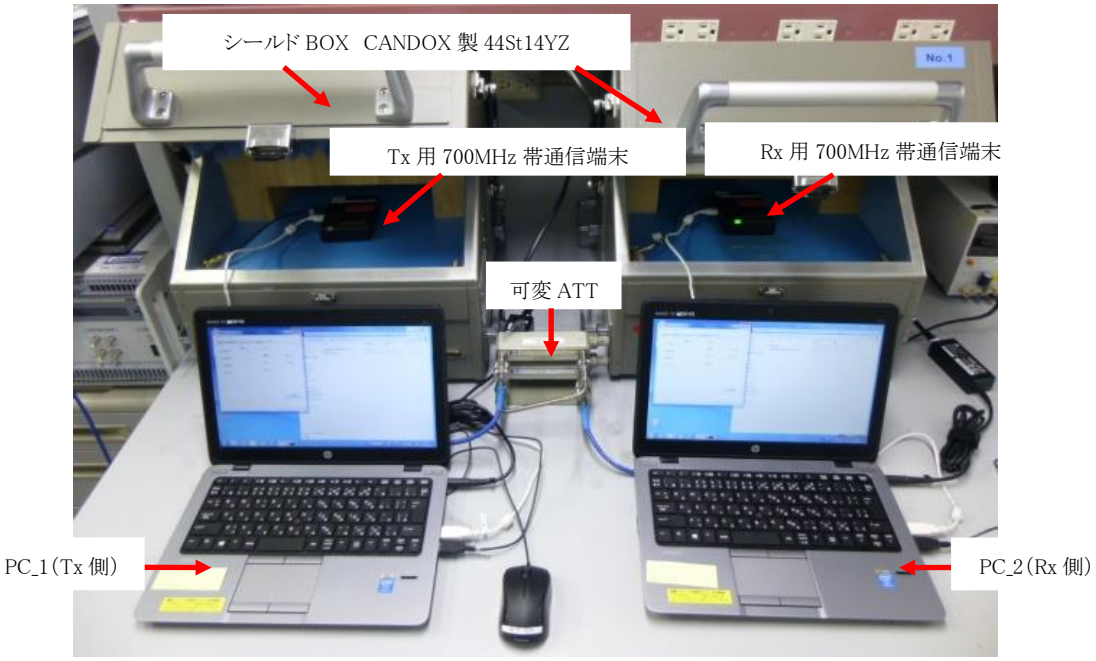


図 3.7-5 評価環境

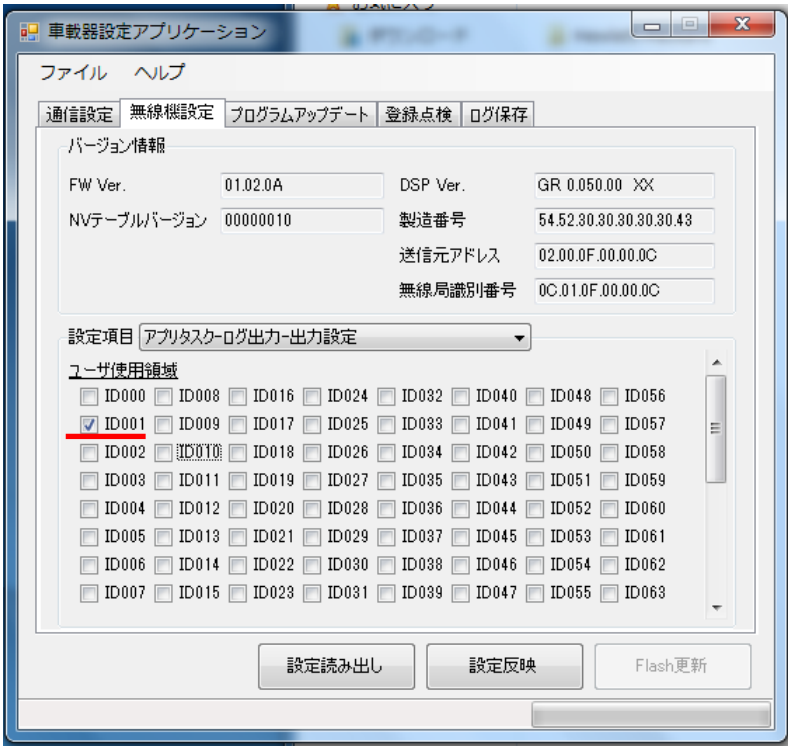


図　3.7-6 ログツール Tx 側：車載器設定アプリケーション

図　3.7-7 ログツール Rx 側：車載器設定アプリケーション

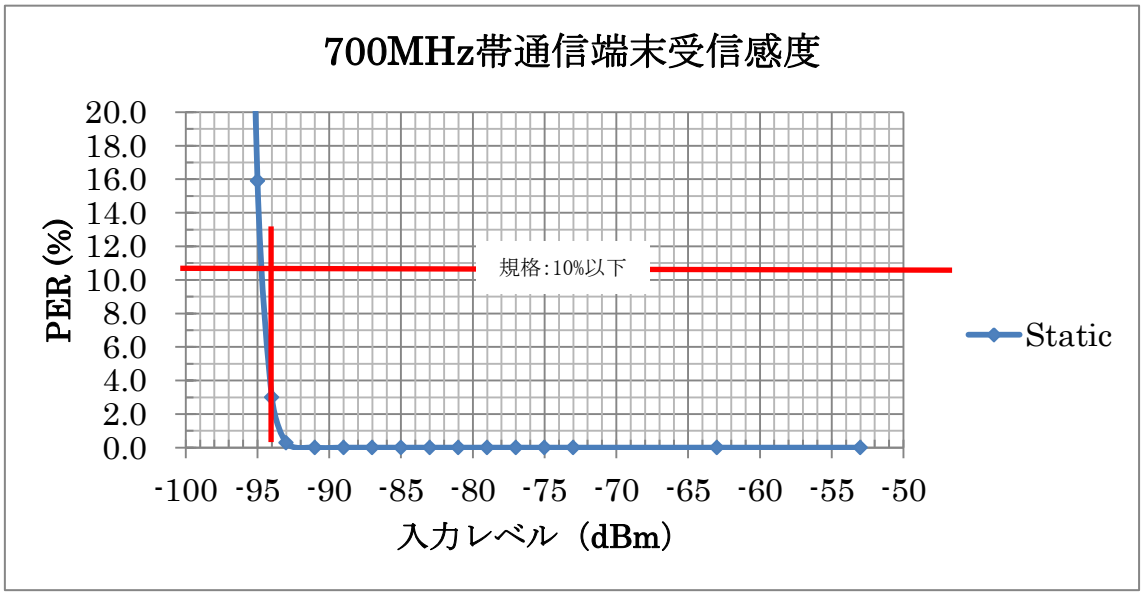


図 3.7-8 受信感度(PER)特性

700MHz 帯通信端末の PER：10%以下を満足する受信感度（PER）は約-94.5dBm（規格-82dBm 以下）となっており規格を十分満足している。参考に PER を算出した送信・受信のログデータを表 3.7-1 に示す。

表 3.7-1 送信・受信のログデータ

	送信：Tx端末		受信：Rx端末	
パケット数	Tx端末のID	Tx端末のカウンタ値	Tx端末から受け取ったTx端末のID	Tx端末から受け取ったTx端末のカウンタ値
1	0xf7aff28d	0x00	0xf7aff28d	0x00
2	0xf7aff28d	0x01	0xf7aff28d	0x01
3	0xf7aff28d	0x02	0xf7aff28d	0x02
→ 4	0xf7aff28d	0x03		
→ 5	0xf7aff28d	0x04		
6	0xf7aff28d	0x05	0xf7aff28d	0x05
7	0xf7aff28d	0x06	0xf7aff28d	0x06
8	0xf7aff28d	0x07	0xf7aff28d	0x07
9	0xf7aff28d	0x08	0xf7aff28d	0x08
10	0xf7aff28d	0x09	0xf7aff28d	0x09
11	0xf7aff28d	0x0a	0xf7aff28d	0x0a
12	0xf7aff28d	0x0b	0xf7aff28d	0x0b
13	0xf7aff28d	0x0c	0xf7aff28d	0x0c
14	0xf7aff28d	0x0d	0xf7aff28d	0x0d
→ 15	0xf7aff28d	0x0e		
16	0xf7aff28d	0x0f	0xf7aff28d	0x0f
17	0xf7aff28d	0x10	0xf7aff28d	0x10
18	0xf7aff28d	0x11	0xf7aff28d	0x11
19	0xf7aff28d	0x12	0xf7aff28d	0x12
20	0xf7aff28d	0x13	0xf7aff28d	0x13
21	0xf7aff28d	0x14	0xf7aff28d	0x14
22	0xf7aff28d	0x15	0xf7aff28d	0x15
23	0xf7aff28d	0x16	0xf7aff28d	0x16
24	0xf7aff28d	0x17	0xf7aff28d	0x17
→ 25	0xf7aff28d	0x18		
→ 26	0xf7aff28d	0x19		
27	0xf7aff28d	0x1a	0xf7aff28d	0x1a
28	0xf7aff28d	0x1b	0xf7aff28d	0x1b
29	0xf7aff28d	0x1c	0xf7aff28d	0x1c
30	0xf7aff28d	0x1d	0xf7aff28d	0x1d
→ 31	0xf7aff28d	0x1e		
32	0xf7aff28d	0x1f	0xf7aff28d	0x1f
33	0xf7aff28d	0x20	0xf7aff28d	0x20
34	0xf7aff28d	0x21	0xf7aff28d	0x21
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
992	0xf7aff28d	0xdf	0xf7aff28d	0xdf
993	0xf7aff28d	0xe0	0xf7aff28d	0xe0
994	0xf7aff28d	0xe1	0xf7aff28d	0xe1
995	0xf7aff28d	0xe2	0xf7aff28d	0xe2
996	0xf7aff28d	0xe3	0xf7aff28d	0xe3
→ 997	0xf7aff28d	0xe4		
998	0xf7aff28d	0xe5	0xf7aff28d	0xe5
999	0xf7aff28d	0xe6	0xf7aff28d	0xe6
1000	0xf7aff28d	0xe7	0xf7aff28d	0xe7
	送信パケット数	1000	受信パケット数	912
→ :受信 NG 箇所			PER(%)	8.8

PER の算出方法は前記に記載したように、Tx 端末から Tx 端末の端末 ID と並行してカウンタ値を送出し、そのデータを Rx 端末にて受信（Tx 端末の ID とカウンタ値をデータとして受け取る）するが、正常に受信できなかった場合、表 3.7-1 に示す様に Rx 端末側のログで Tx 端末の ID と共にカウンタ値に抜けが発生する。この抜けた回数をエラー率として算出している。

3.7.2. BLE Module 動作時の 700MHz 帯通信端末無線特性

700MHz 帯通信端末単体の無線特性（有線特性）は前章に記載したが、700MHz 帯通信端末と BLE Module それぞれをアンテナ通信動作させた際の 700MHz 帯通信端末への影響（無線特性）を確認する。更に、前章に記載したが BLE Module の 700MHz 帯通信端末への影響（干渉）は A 社及び B 社共に問題ない見込みであるが、B 社 Module では測定環境（Adapter）によるノイズ影響の懸念があるため、リスク回避から本模擬実験では A 社の BLE Module を使用する。尚、700MHz 帯通信端末のアンテナ位置に対して BLE Module のアンテナを 3 ヶ所の位置に配置して検証を行った。また、本模擬実験では 700MHz 帯通信端末のアンテナと BLE Module のアンテナを限りなく近接させた最悪条件にて行った。アンテナでの測定環境を図 3.7-9 に、700MHz 帯通信端末の 760MHz アンテナ位置を図 3.7-10 にまた、実測した BLE Module のアンテナ近接位置を図 3.7-11 に示す。

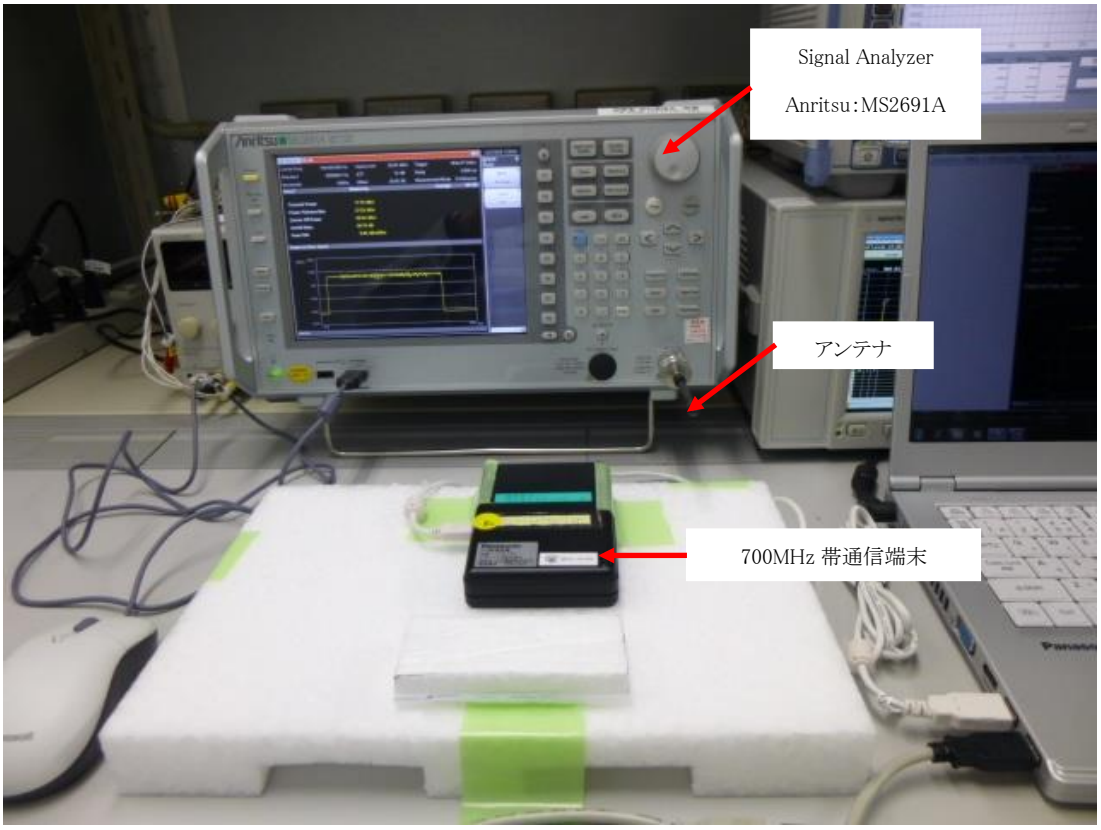


図 3.7-9 700MHz 帯通信端末アンテナ通信時の測定環境

図 3.7-10 700MHz 帯通信端末の 760MHz アンテナ位置

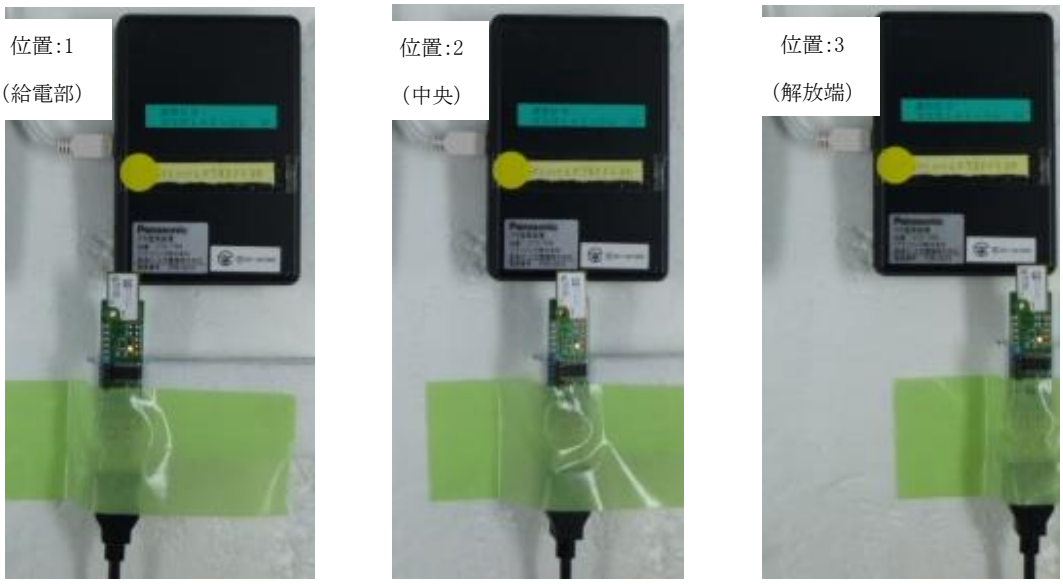


図 3.7-11 700MHz 帯通信端末アンテナ位置に対する BLE Module アンテナの位置

BLE Module のアンテナ位置を 1～3 に変更し、BLE Module 0ch／20ch／39ch 送信時の Frequency Error 及び EVM の測定結果を図 3.7-12～図 3.7-20 に示す。

アンテナ位置：1 の BLE 0ch／20ch／39ch 送信の図 3.7-12～図 3.7-14 において Frequency Error は-0.3～-0.4ppm（規格 偏差 20×10^{-6}）、EVM も Peak にて-30.0～-30.7dB（規格-10dB 以下 ）で何れも規格を満たしていると共に有線測定結果と同等となっている。

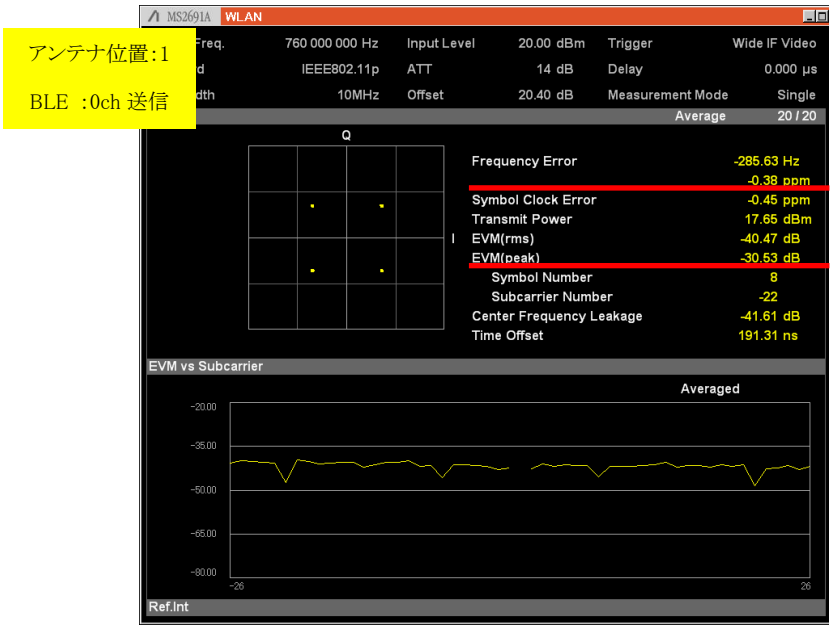


図 3.7-12 アンテナ位置：1 0ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

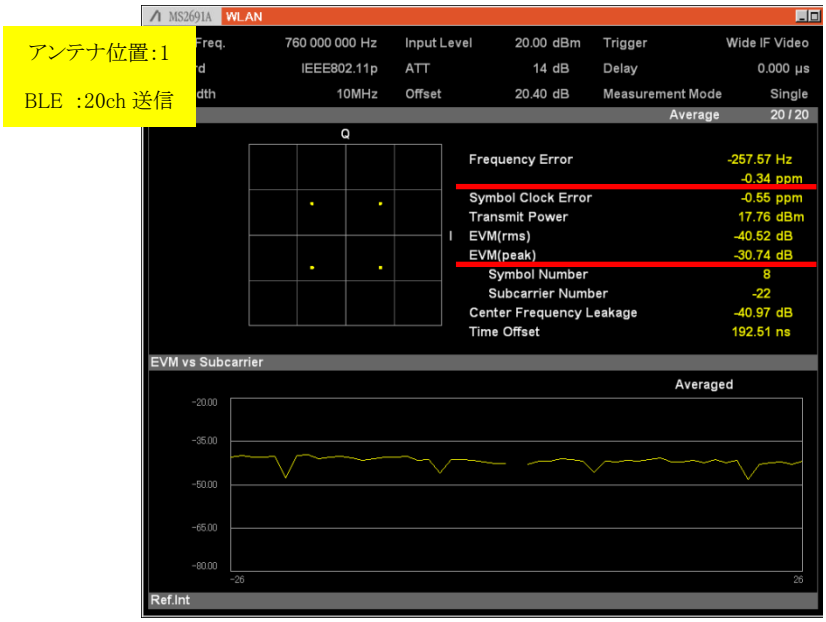


図 3.7-13 アンテナ位置：1 20ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

アンテナ位置:1

BLE :39ch 送信

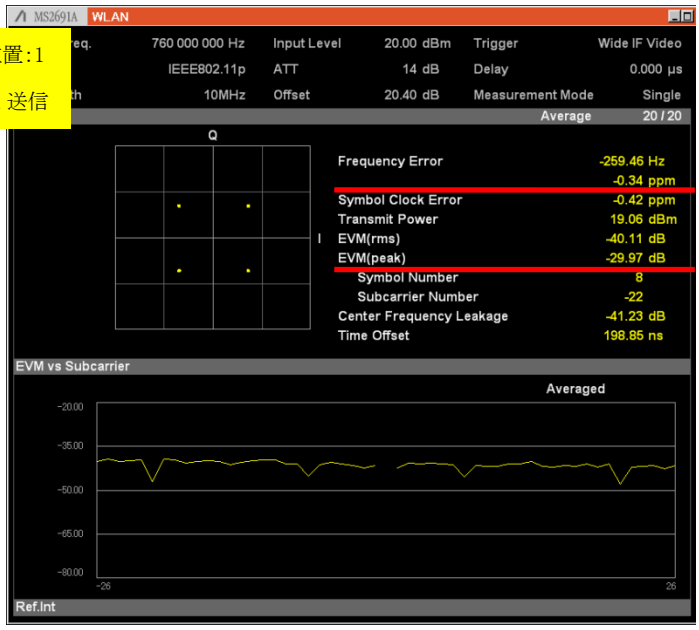


図 3.7-14 アンテナ位置:1 39ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

アンテナ位置：2 の BLE 0ch／20ch／39ch 送信の図 3.7-15～図 3.7-17 において、Frequency Error は-0.3～-0.4ppm（規格 偏差20×10^{-6}）、EVMもPeakにて-29．4～-30.1dB（規格-10dB 以下 ）で何れも規格を満たしていると共に有線測定結果と同等となっている。

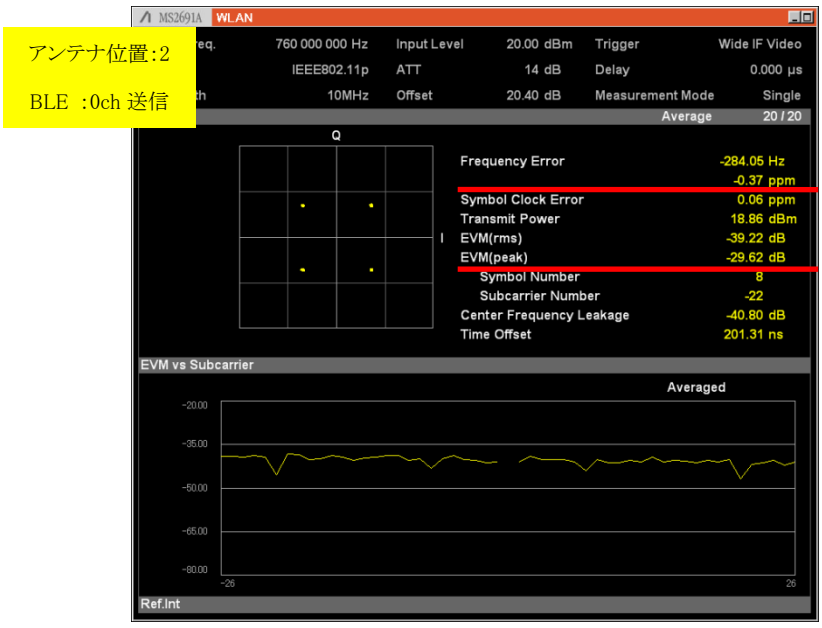


図 3.7-15 アンテナ位置:2 0ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

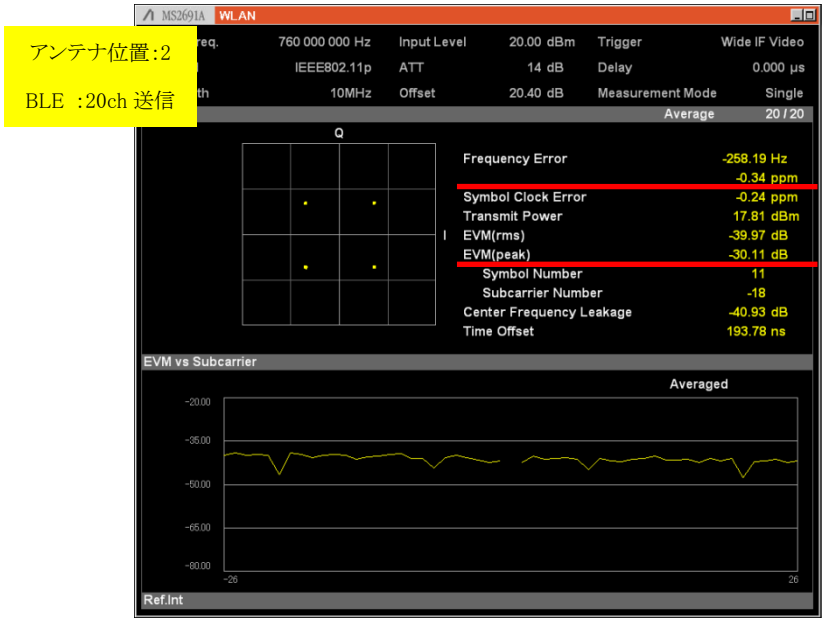


図 3.7-16 アンテナ位置:2 20ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

アンテナ位置:2

BLE :39ch 送信

図 3.7-17 アンテナ位置:2 39ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

アンテナ位置：3 の BLE 0ch／20ch／39ch 送信の図 3.7-18～図 3.7-20 において、Frequency Error は-0.3～-0.4ppm（規格 偏差 20×10^{-6}）、EVM も Peak にて-28.5～-29.1dB（規格-10dB 以下 ）で何れも規格を満たしていると共に有線測定結果と同等となっている。

図 3.7-18 アンテナ位置：3 0ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

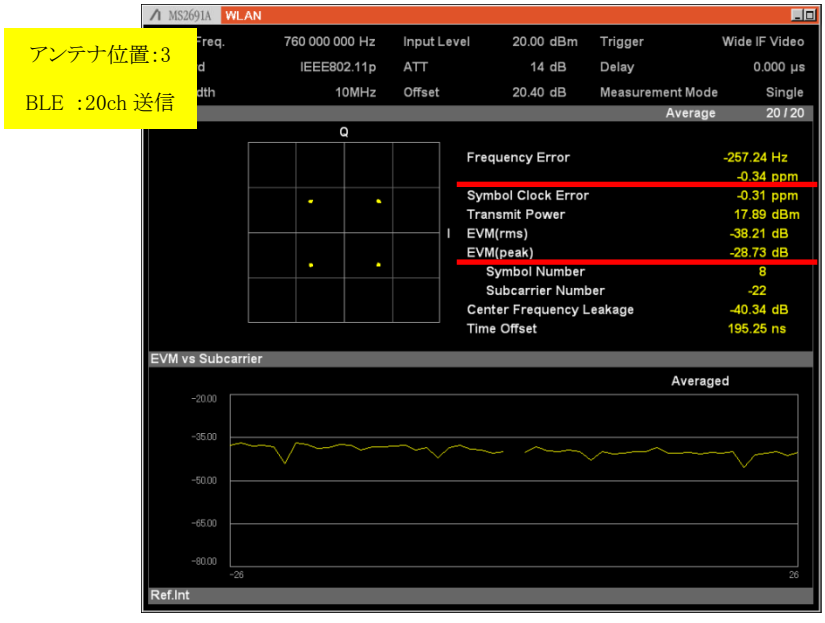


図 3.7-19 アンテナ位置：3 20ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

アンテナ位置:3

BLE :39ch 送信

図 3.7-20 アンテナ位置:3 39ch 送信時の Frequency Error & EVM 特性

アンテナ使用時の TESTER 対向による送信特性と共に受信感度（PER）に関しても 700MHz 帯通信端末のアンテナ位置を上記同様 1～3 に配置して模擬実験を行った。尚、PER は 3.7.1 章に記載したように Tx 端末のログと Rx 端末のログデータから求めている。PER 測定時の 700MHz 帯通信端末の配置図を図 3.7-21 に、PER 特性を図 3.7-22 に示す。

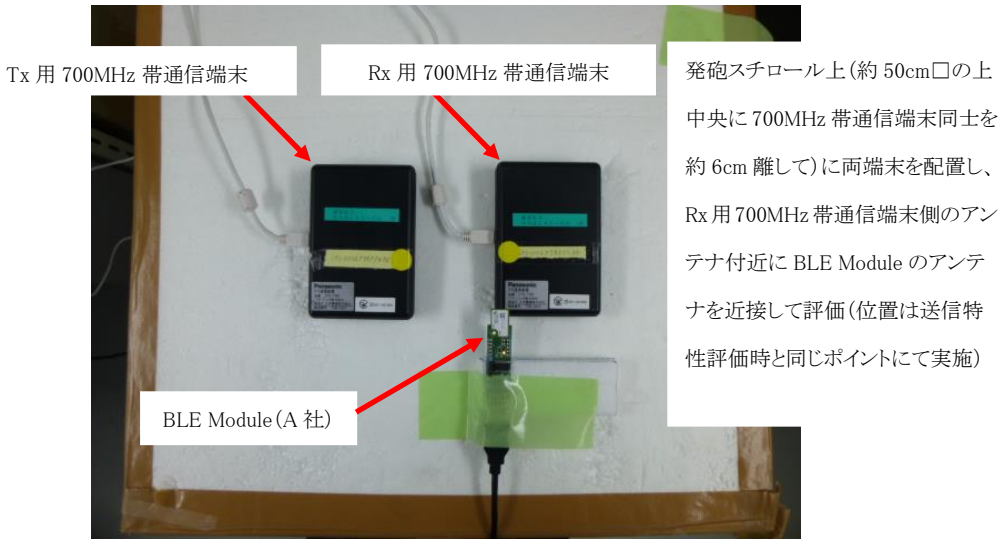

Tx 用 700MHz 帯通信端末
Rx 用 700MHz 帯通信端末
発砲スチロール上（約 50cm□の上中央に 700MHz 帯通信端末同士を約 6cm 離して）に両端末を配置し、Rx 用 700MHz 帯通信端末側のアンテナ付近に BLE Module のアンテナを近接して評価（位置は送信特性評価時と同じポイントにて実施）
BLE Module（A 社）

図 3.7-21 PER 測定時の 700MHz 帯通信端末配置図

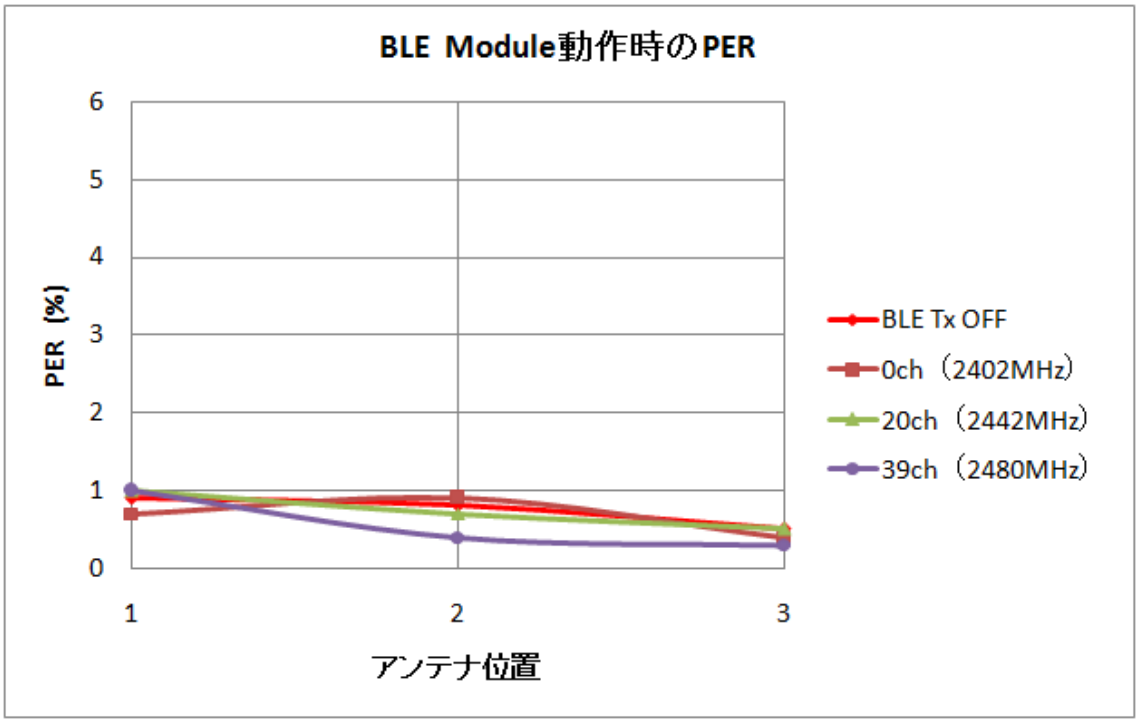


図 3.7-22 PER 特性

BLE Module のアンテナ位置 1～3 に於いて BLE 送信 ON（連続送信）/OFF による PER に差異がない（劣化がない）。

700MHz 帯通信端末のアンテナに BLE Module のアンテナを近接させた実験に於いても送信及び受信特性共に変化ない。

以上の BLE 内蔵化の模擬実験結果に於いても 700MHz 帯通信端末に干渉（特性に変化がない）がない事から 700MHz 帯通信端末に BLE を内蔵化するシステムは問題ない。

3.7.3. A 社 Chip アンテナ効率

模擬実験で使用した A 社 BLE Module の Chip アンテナに関しては A 社より Chip アンテナの効率が提示されている。事前にメーカ同様の効率が得られているかを確認するため、自社の電波暗室にて本 Chip アンテナの効率を評価した。測定 Module を図 3.7-23 に、電波暗室の測定環境を図 3.7-24 に示し、2402MHz－2480MHz の放射パターンを図 3.7-25～図 3.7-27 に示す。

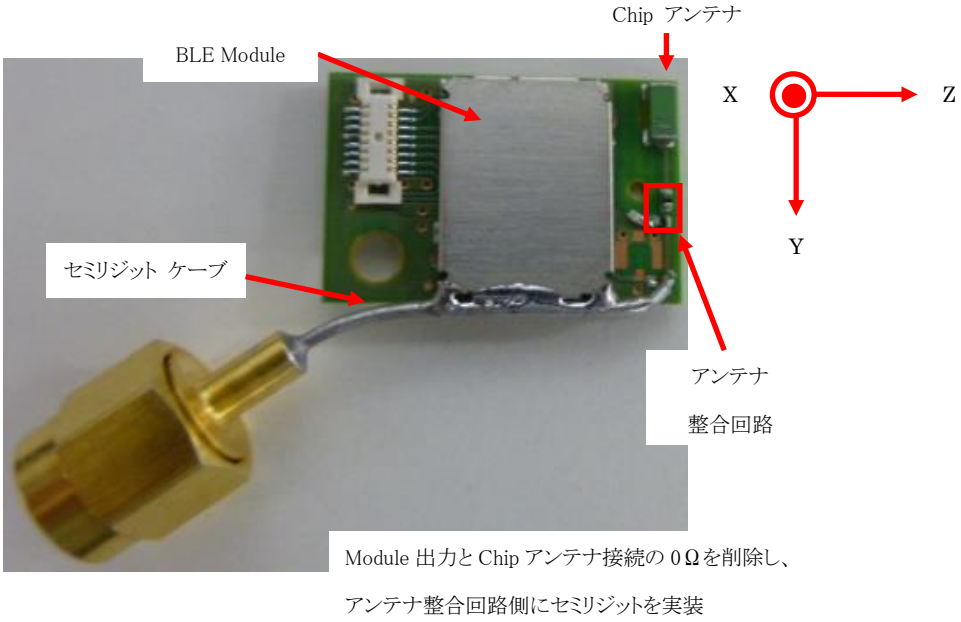
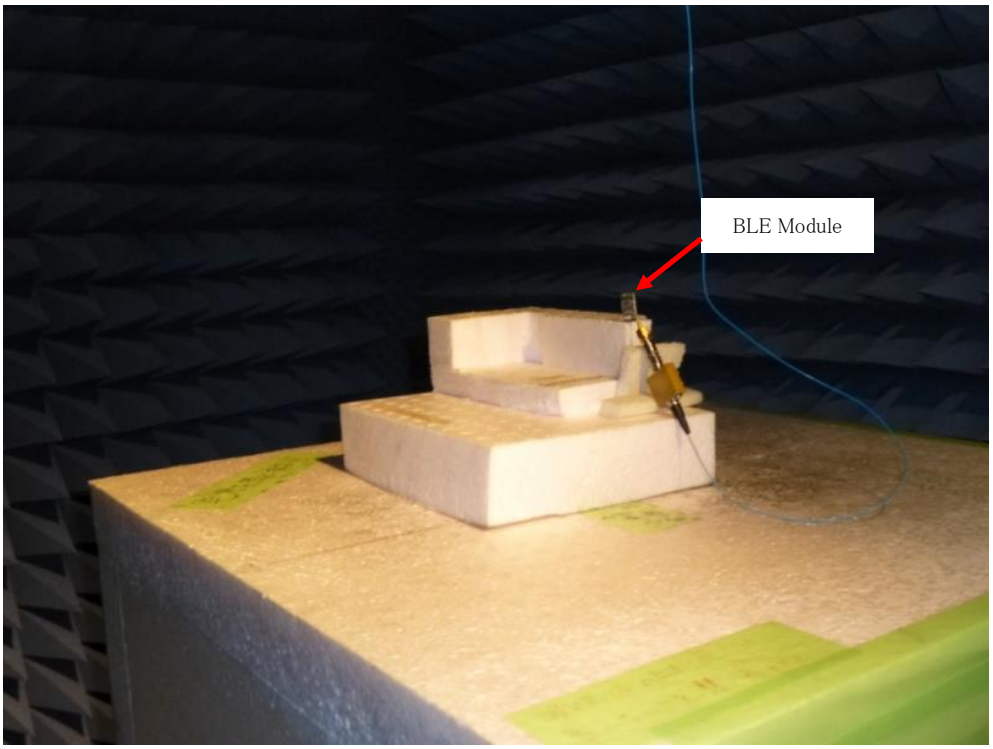


図 3.7-23 測定 Module



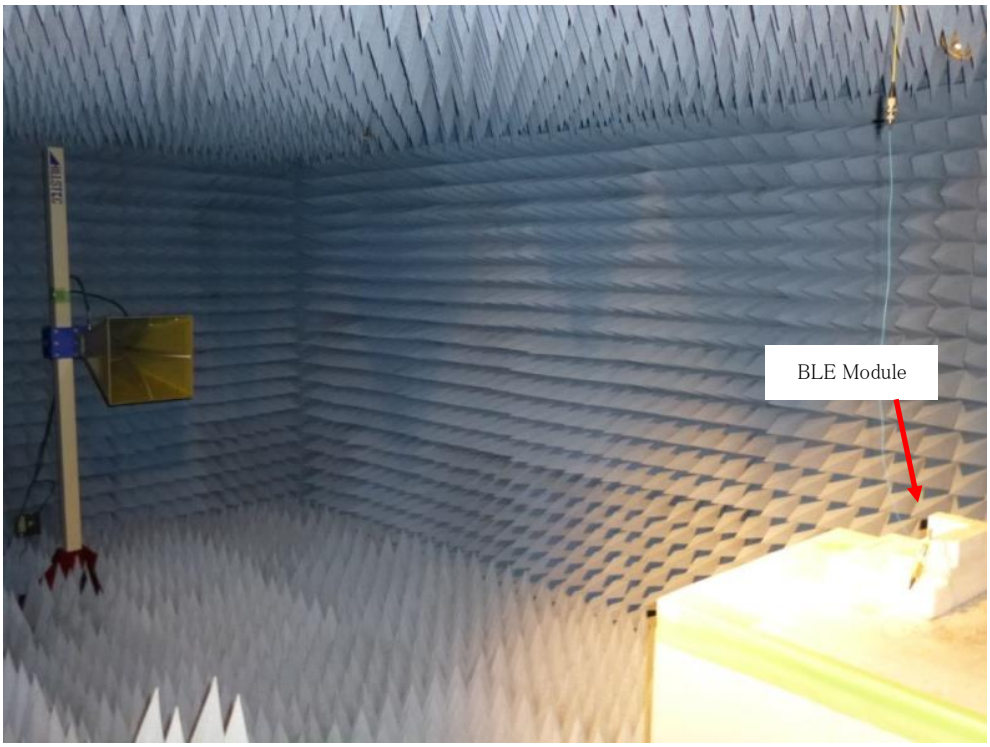


図 3.7-24 電波暗室の測定環境

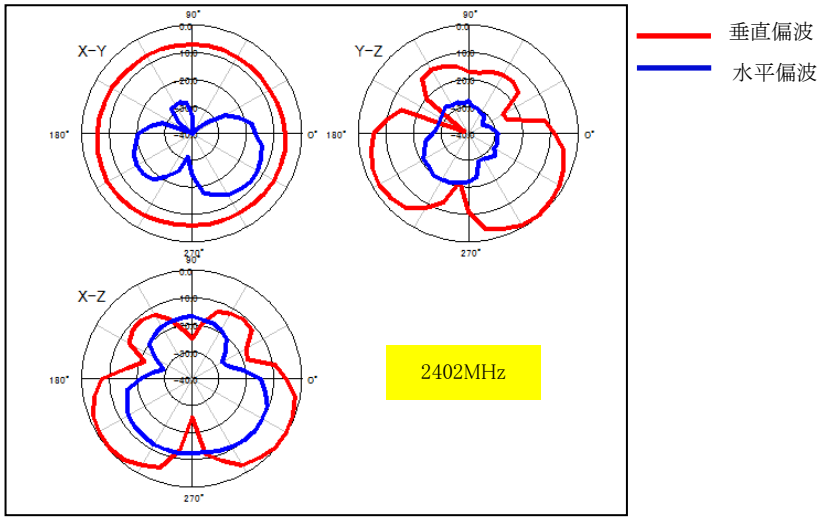


図 3.7-25 2402MHz 放射パターン

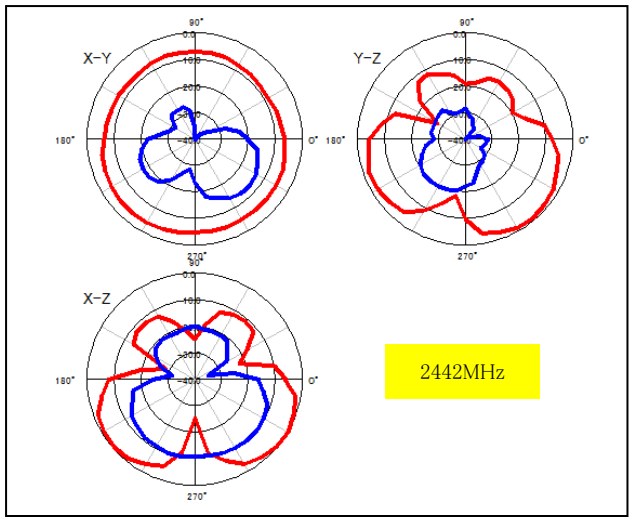


図 3.7-26 2442MHz 放射パターン

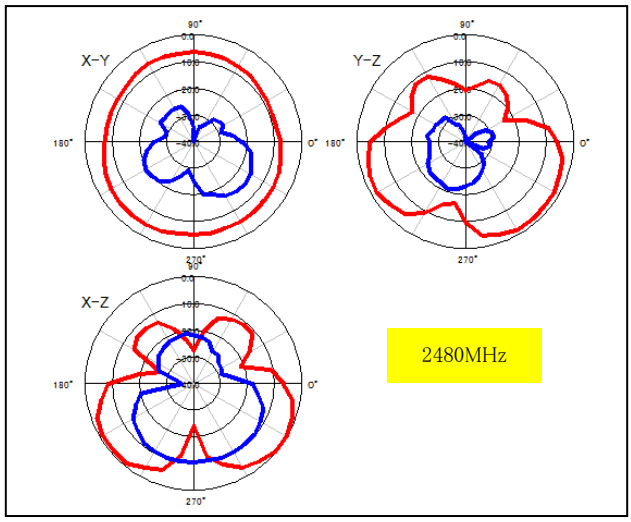


図 3.7-27 2480MHz 放射パターン

自社電波暗室の放射パターンから求めたアンテナ効率を表 3.7-2 に示す。また、A 社より提示されている Chip アンテナの効率（参考文献[3]）を表 3.7-3 に示す。下記に示す様に A 社の提示されているアンテナ効率が再現していることを確認した。

表 3.7-2 自社測定のアンテナ効率

f [MHz]	2402	2442	2480
効率[dB]	-3.0	-3.0	-3.3

表 3.7-3 A 社提示のアンテナ効率

Type	Chip Size (Antenna area)	Efficiency on STD board
Monopole	3.2*1.6*1.3mm	−3.0dB @2442MHz

3.8. 700MHz 帯通信端末諸検討

BLE が 700MHz 帯通信端末に干渉を与えないか(BLE の 760MHz 帯雑音電力や BLE 動作時の 700MHz 帯通信端末の無線通信特性)の検証及び模擬実験は前章に記載したが、本章では 700MHz 帯通信端末の基礎検討として送信時間に関して確認を行ったので以下に記載する。

3.8.1. 700MHz 帯通信端末送信時間検証

「送信抑圧制御」を実現するにあたり、700MHz 帯通信端末の送信時間を検証する必要がある。そこで、現行の 700MHz 帯通信端末の電流を計測し、送信に要する時間を確認した。Current Probe にて測定した測定環境を図 3.8-1 に、電流波形を図 3.8-2～図 3.8-4 に示す。

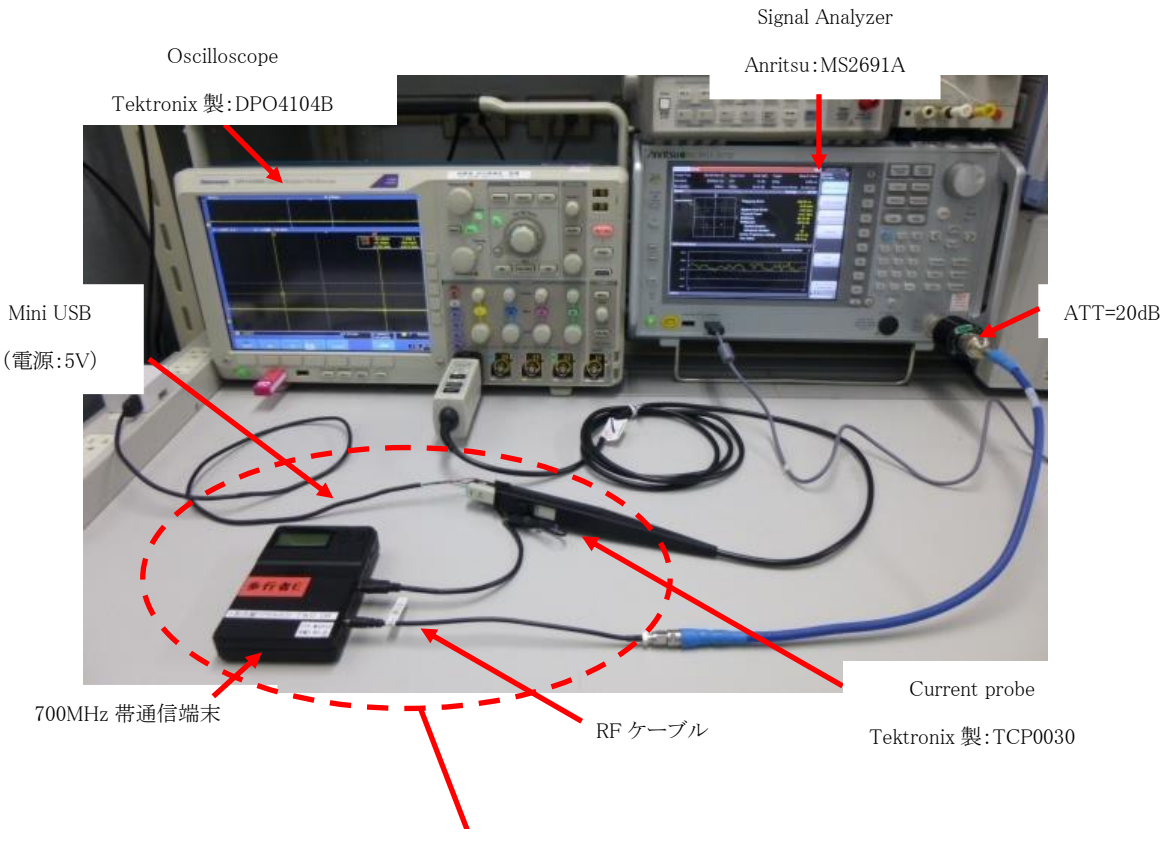


図 3.8-1 700MHz 帯通信端末の電流測定環境

図 3.8-2～図 3.8-3 に示すように ON 時間は約 250usec 程度、電源投入直後と更に 100msec 周期の Burst（送信）開始までは 16 秒程度要する。

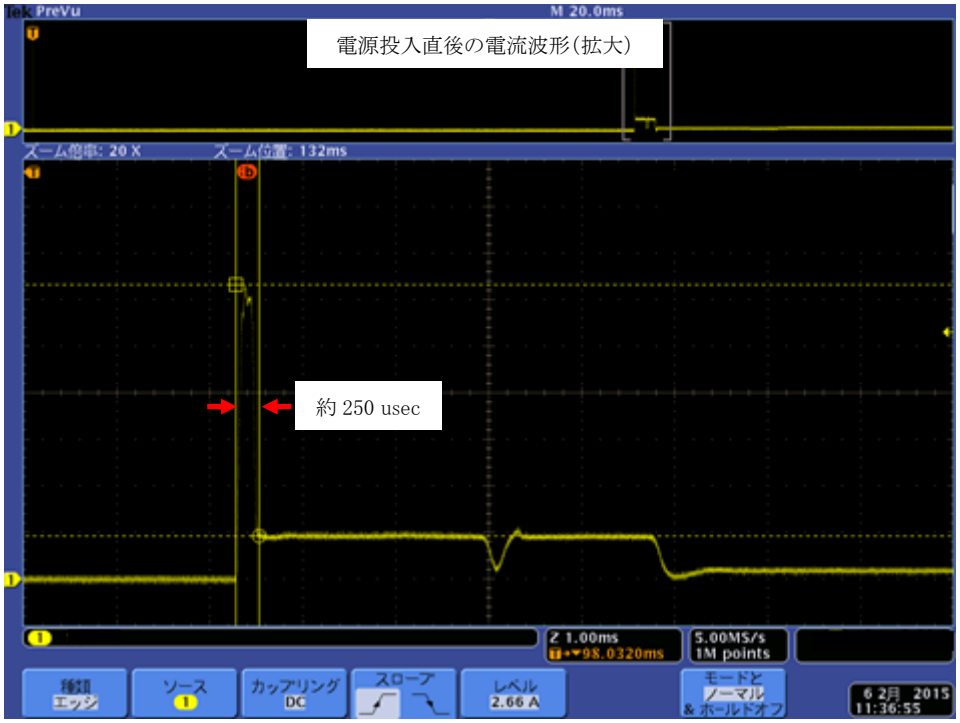


図 3.8-2 電源投入直後の電流波形

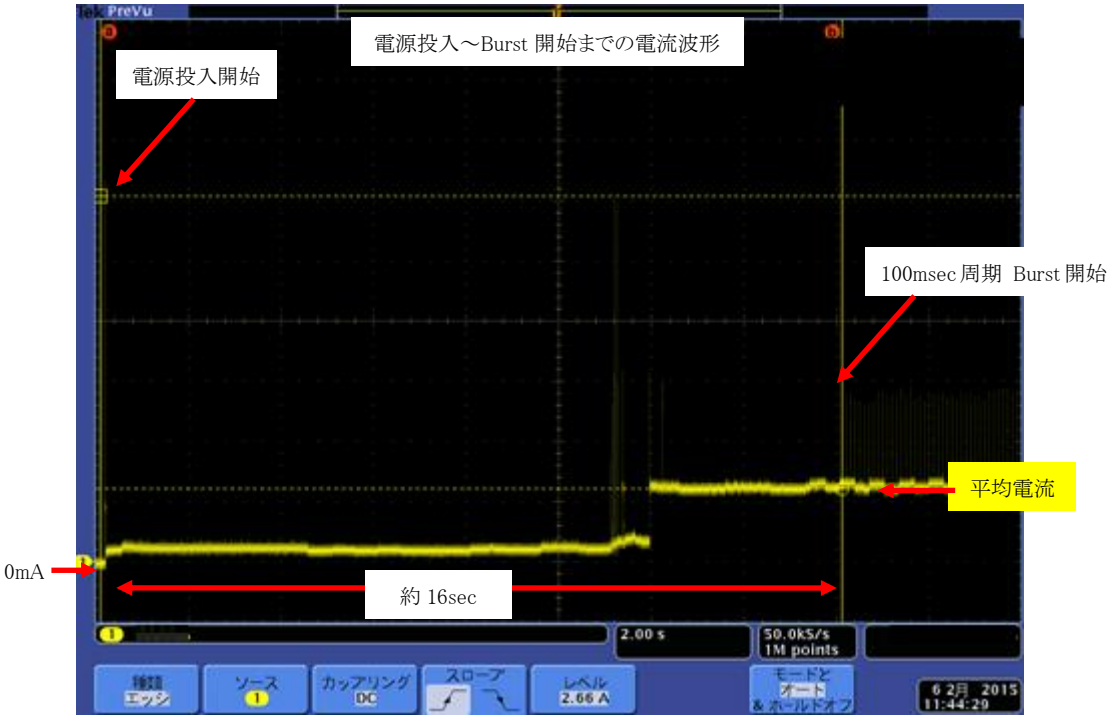


図 3.8-3 電源投入から 100msec 周期 Burst 開始までの電流波形

700MHz 帯通信端末が通信状態時（100msec 周期 Burst 動作時）の電流を図 3.8-4 に示す。

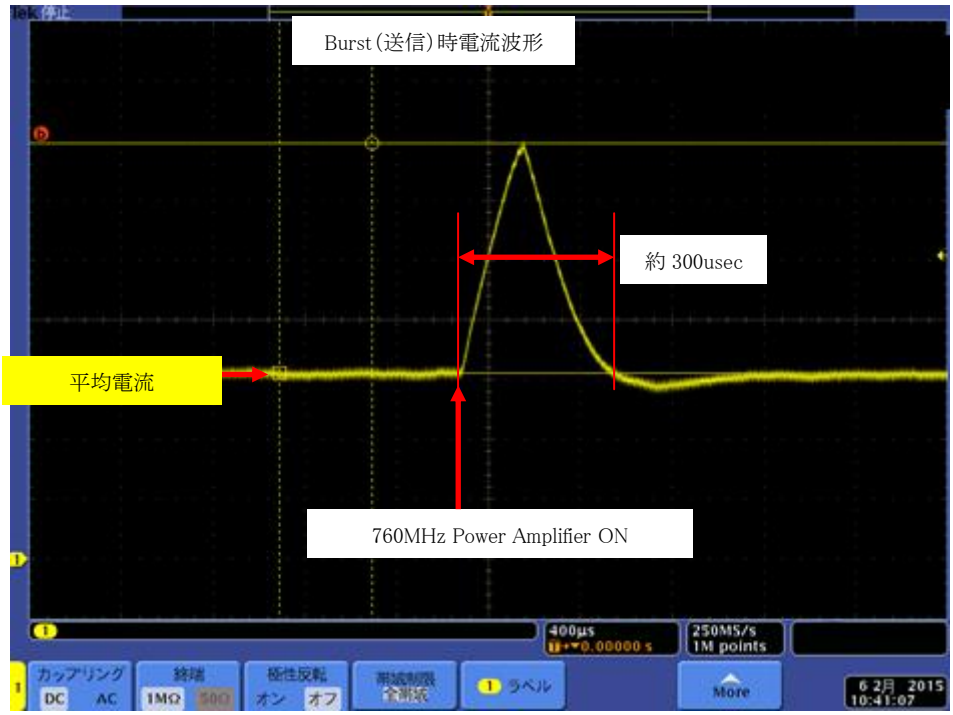


図 3.8-4 100msec 間隔 Burst 時の電流波形

電源起動開始から送信 Power が出力されるまでの Spectrum 波形と Current probe による電流波形の相対比較波形を図 3.8-5～図 3.8-6 に示す。

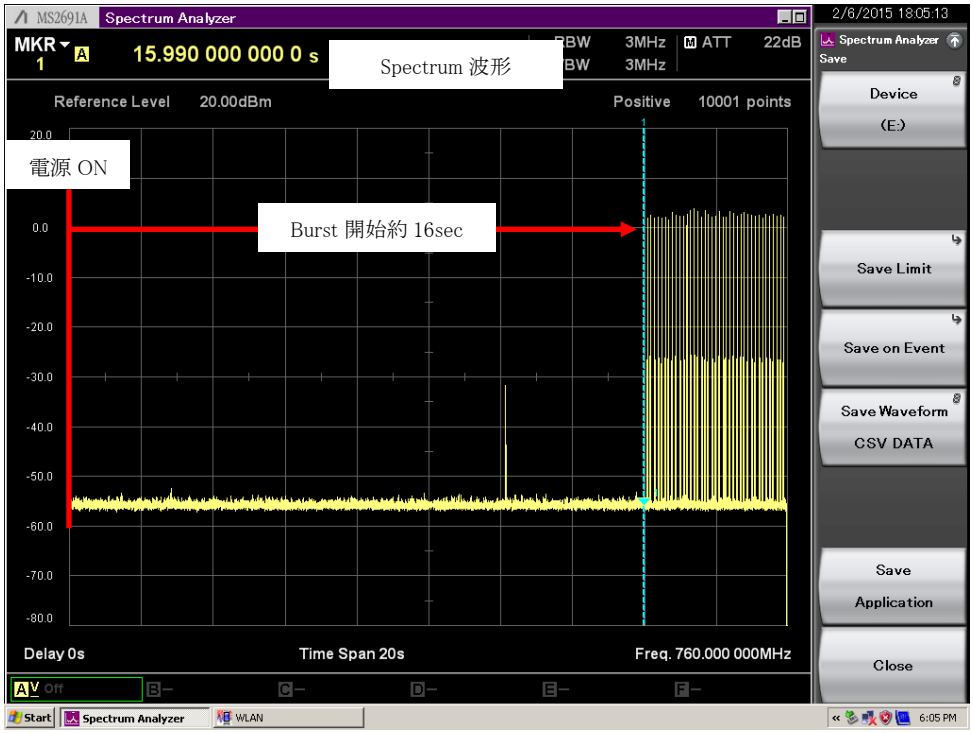


図 3.8-5 電源起動時から Power 送出までの Spectrum 波形

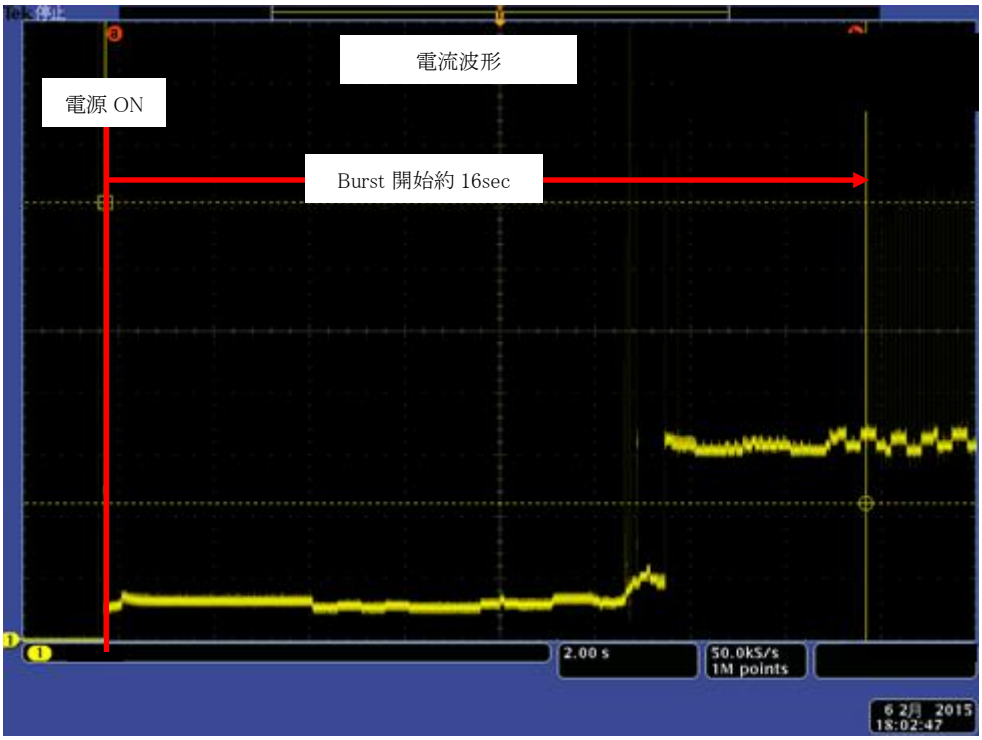


図 3.8-6 電源起動時から Power 送出までの電流波形

4. まとめ

専用端末の携帯性を考慮した低消費電力化技術の導入、700MHz 帯通信プロトコルの互換性を維持の実現を 3 ヵ年の目的とし、以下の年次目標を設定した。

[平成 26 年度]

『Bluetooth 並びに 700MHz 帯通信 I/F の検証』、『基本機能試験』(端末試作 未実施)

- 既存端末メッセージアップデート
- 実証実験の追加試験で互換性確認
- Bluetooth による制御信号伝達確認

[平成 27 年度]

『700MHz 帯通信端末試作』、『700MHz 帯通信端末動作確認』

- Bluetooth「間欠受信」端末試作
- 最大電流等の電源要求を明確化しバッテリ容量への要求仕様検討

[平成 28 年度]

『実証端末製造』、『実証実験』

- 700MHz 送信抑圧制御確認
- SIP 車車・路車実証実験の追加試験で歩端末実証実験実施

これまでの評価結果より、平成 26 年度は『Bluetooth 並びに 700MHz 帯通信 I/F の検証』『基本機能試験』を実施し、以下の成果を達成した。

- 既存端末メッセージアップデート
  - 開発完了。メッセージセットを RC-013 対応とし、700MHz 帯通信端末として互換性維持可能であることを確認
- 実証実験の追加試験で互換性確認
  - 検証完了。事前接続試験、並びに横須賀実証実験にて車載器との通信を確認
- Bluetooth による制御信号伝達確認
  - 開発完了・検証完了。スマートフォンの測位データを Bluetooth 経由で 700MHz 帯通信端末にとり込み、車載器への伝送を確認。また、BLE が 700MHz 帯通信端末に内蔵化した時の弊害・干渉について屋内試験で確認

この評価において、国土交通省要求の平成 26 年度実証実験と連携・協力して行った。また成果価値向上のため、課題Ⅰ の車車間通信担当者(総務省 SIP 受託者)および、課題Ⅱ の歩車間通信担当者(国土交通省 SIP 受託者)との会社間/省庁間の調整を率先して行い、連携構築を行った。関係者に対して感謝を申し上げる。

5. 参考文献

この研究報告書は以下の文章を必要に応じて参照する。

[1] ITS 情報通信システム推進会議, 700MHz 帯高度道路交通システム 実験用車車間通信メッセージガイドライン ITS FORUM RC-013 1.0 版, 2014 年 3 月 31 日
[2] 鄭 立, Bluetooth LE 入門, 秀和システム, 2014 年
[3] 株式会社村田製作所, Bluetooth Low Energy Module Data Sheet, 2014 年
[4] ルネサスエレクトロニクス株式会社, SH7266 グループ、SH7267 グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編, 2010 年
[5]IEEE Std 802.11™-2012, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
[6] ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社, CBT/CBT32 Bluetooth テスタ ユーザマニュアル
[7] 株式会社アドバンテスト, R3477 シグナル・アナライザ ユーザーズ・ガイド
[8] キーサイト・テクノロジー合同会社, N9030A PXA シグナル・アナライザ ユーザマニュアル
[9] 東陽テクニカ株式会社(SPIRENT), SR5500M フェージングシミュレータ ユーザマニュアル
[10] 株式会社 TFF(テクトロニクス社), DPO4104B オシロスコープ ユーザマニュアル
[11] キーサイト・テクノロジー合同会社, E5071C ENA シリーズ ネットワーク・アナライザ ユーザマニュアル
[12] アンリツ株式会社, MS2691A スペクトラムアナライザ/シグナルアナライザ 取扱説明書

この研究報告書で使用している地図は株式会社ゼンリンデータコムが提供している areacutter のデータを参照している(許諾番号:Z05E-第 195 号)。